

EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE 44 INTRODUCCIONES DE *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray EN CANDELARIA, VALLE DEL CAUCA

V. A. Holguín^{1,3}, S. Ortiz Grisalez¹, A. Velasco Navia², J. Mora-Delgado³

Artículo recibido: 30 de noviembre de 2014. Aprobado: 15 de marzo de 2015

RESUMEN

La producción de forrajes, como fuente principal de alimentación de bovinos, ha generado proteína de alta calidad en carne y leche para satisfacer las necesidades humanas. La elección de forrajes no sólo debe basarse en las virtudes agronómicas, sino también en su valor nutricional, palatabilidad y nivel de toxicidad para el ganado. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta productiva forrajera de 44 introducciones de *T. diversifolia*, provenientes de varias localidades del centro occidente de Colombia, establecidas en una colección en el Centro Experimental Universidad Nacional sede Palmira (CEUNP) Candelaria (Colombia). Coordenadas 2°06' N y 65°03' O, con temperatura de 26 °C y precipitación promedio anual de 1532 mm. Se evaluaron indicadores morfoagronómicos y nutricionales de las 44 introducciones; luego estas se clasificaron mediante estadística multivariada y la posterior aplicación de índices integrales (Índice de Potencial Forrajero Ponderado e Índice de Rendimiento y Calidad Ponderado). Se seleccionaron las ocho introducciones más rendidoras y de mejor calidad nutricional; posteriormente solo cuatro fueron identificados como las más promisorias (17,9; 22,14; 13,5 y 1,2). Se concluye que el uso de índices integrales multicriterio facilita la selección de materiales rendidores, con base en diferentes criterios de adaptabilidad, productividad y calidad de las especies.

Palabras clave: indicadores multicriterio, bromatología, agronomía, digestibilidad.

MULTI-CRITERIA EVALUATION OF 44 INTRODUCTIONS OF *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray IN CANDELARIA, VALLE DEL CAUCA

ABSTRACT

Fodder production, the main source of cattle feed, has generated high quality protein in meat and milk to meet human needs. Choosing fodder should not only be based on agronomic properties, but also its nutritional value, palatability and toxicity for livestock. This study aimed to evaluate the forage production response of 44 introductions

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. AA 237. Palmira, Valle del Cauca (Colombia) / Universidad del Tolima.

² Programa de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. AA 237. Palmira, Valle del Cauca (Colombia).

³ Grupo de Investigación Sistemas Agroforestales Pecuarios, Universidad del Tolima. Barrio Santa Helena Parte Alta, A.A. 546, Ibagué (Colombia)

* Email para correspondencia: vholguin@ut.edu.co

of *T. diversifolia*, from various localities in the west central Colombia, established in a collection at the National University Palmira (CEUNP) Experimental Center, Candelaria (Colombia). Coordinates 2°06' N and 65°03' W, with a temperature of 26 ° C and average annual precipitation of 1532 mm. Morpho-agronomic and nutritional indicators of the 44 introductions were evaluated; these are then classified using multivariate statistics and the subsequent implementation of integral indices (Weighted Forage Potential Index and Weighted Index Performance and Quality). Eight introductions of higher yields and better nutritional quality were selected; then only four were identified as the most promising (17.9; 22.14; 13.5 and 1.2). We conclude that the use of multi-integral indices facilitates the selection of materials yielders, based on different criteria of adaptability, productivity and quality of species.

Keywords: multicriteria indicators; bromatology, agronomy, digestibility.

INTRODUCCIÓN

La producción de pastos y forrajes como fuente principal de alimentación de bovinos ha permitido generar proteína de origen animal a nivel de carne y leche para satisfacer las necesidades humanas (Bernal 2011). Sin embargo, uno de los principales problemas de los sistemas ganaderos en Colombia, es la producción estacional de forrajes con limitaciones en la satisfacción de las necesidades alimenticias de los bovinos, tanto en época de lluvia, como de sequía (Fujisaka *et al.* 2005; Holmann *et al.* 2004). La elección de pasturas y forrajes no sólo debe basarse en las virtudes agronómicas, sino también en su valor nutricional para el ganado (Ospina 2002). Los primeros criterios de selección de las especies forrajeras se basan en la capacidad adaptativa a condiciones agroecológicas específicas, la cual se expresa en indicadores productivos y morfoagronómicos como producción de biomasa, relación hoja tallo, tasa de crecimiento y productividad por unidad de superficie.

Dentro de las especies forrajeras con potencial forrajero se encuentra *Tithonia diversifolia*, una planta arbustiva de vistosas flores amarillas, que presenta una amplia

capacidad de adaptación, desde el nivel del mar hasta 2400 msnm aproximadamente. Además, puede habitar en suelos de alta o baja fertilidad (Ruiz 2012). Siendo asequible y localmente disponible, puede ser fuente alternativa de nutrientes y aumentar el rendimiento de otras especies como el maíz (Achieng 2010).

Esta especie se ha difundido por diferentes espacios y condiciones climatológicas del mundo, sin embargo, se podría conjeturar que diferentes introducciones dispersas en espacios geográficos disímiles podrían tener comportamientos distintos cuando comparten un hábitat, tal como ha sucedido con otras especies leñosas (Ospina *et al.* 2002. Por su parte, Sun *et al.* (2008) dieron cuenta de una posible variación celular ocurrida en algunas poblaciones que probablemente originadas de una sola línea de *T. diversifolia*, pero que expresan diferentes respuestas adaptativas a diferentes condiciones ecológicas, lo cual a su vez, justifica la realización de una investigación que apunte a evaluar la respuesta productiva de diferentes introducciones en espacios agroclimáticos específicos para una planta de cubrimiento pancontinental, que se propaga por vía sexual y asexual, que coloniza ambientes

y que por su interacción con ellos puede presentar variaciones productivas.

La fuente de variabilidad geográfica es un factor importante para las especies cultivadas que tienen un amplio rango de distribución, en la medida que además de su dispersión natural, estas han sufrido una amplia dispersión artificial por acción del hombre; así, al entran en un nuevo nicho ecológico las plantas empiezan un nuevo proceso evolutivo en el cual crean estrategias de adaptación a variaciones del entorno (Hidalgo 2003). Estudios en otras especies leñosas con potencial forrajero dan cuenta de la variabilidad genética con base en caracteres morfológicos, de rendimiento forrajero, composición química, digestibilidad y fermentabilidad, como criterios para seleccionar las procedencias de mayor potencial para nutrición de diferentes especies animales (Ospina *et al.* 2002).

Para evaluar materiales de diferente procedencia una herramienta importante es la formulación de indicadores multicriterio de fácil construcción e interpretación por parte del productor (Garzón y Mora-Delgado 2014). Cuando se emplean varios criterios en la construcción de indicadores se tiene más probabilidad de acierto en la caracterización y la toma de decisiones, de tal manera que los análisis multicriterio parten de la base de que el decidor debe establecer la importancia relativa de cada uno de los indicadores y de sus objetivos, para luego definir una estructura de preferencias que pueden expresarse mediante ponderaciones (Roche y Vejo 2005).

Así, este estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta productiva forrajera de

44 introducciones de *T. diversifolia*, provenientes de varias localidades del centro occidente de Colombia para identificar las de mejor crecimiento, calidad y productividad bajo un análisis multicriterio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro experimental de la Universidad Nacional Palmira (CEUNP), localizado en Candelaria (Valle del Cauca), a 1.000 msnm; 02°06' N y 65°03' O. Pertenece a la zona climática cálido-moderada, según la clasificación de Holdridge, formación Bosque Seco Tropical (BS-T) (Rodríguez 1999). Los suelos pertenecen al orden de los vertisoles (epiaquert ústico arcilloso fino isohipertérmico 1%) (Acosta *et al.* 1997)

Material Biológico

Se evaluaron características agronómicas de una muestra de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* de la colección del programa de Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. La misma fue establecida en octubre de 2012 con materiales provenientes de diferentes localidades del sur occidente de Colombia (Tabla 1) mediante siembra de cangres de 60 cm de largo cada uno, a una densidad de 1 m de distancia entre sitios, 2 m entre surcos y cinco sitios por cada introducción (10 plantas). Se hizo un corte de uniformización a los 4 meses, podando a 40 cm todas las plantas; en adelante se realizaron cortes cada 60 días. El área experimental tenía una superficie de 880 m², en los cuales se distribuyeron las 440 plantas.

TABLA 1. Procedencia de introducciones de *T. diversifolia* del sur occidente de Colombia

Código	Municipio	Departamento	Coordenadas Geográficas		Altura (msnm)
			Latitud N	Longitud O	
1,1	EL Cerrito	Valle	03° 38' 36,1"	076° 11' 19,6"	1448
1,2	EL Cerrito	Valle	03° 41' 09,6"	076° 11' 29,5"	1597
1,3	EL Cerrito	Valle	03° 39' 10,0"	076° 12' 09,3"	1313
1,4	Palmira	Valle	03° 34' 21,8"	076° 11' 17,9"	1555
1,5	Guacarí	Valle	DND	DND	1698
1,6	Guacarí	Valle	DND	DND	1698
1,7	El Cerrito	Valle	DND	DND	2100
1,8	El Cerrito	Valle	DND	DND	1313
1,9	La Unión	Valle	04° 33' 22"	076° 10' 05"	1593
10,2	Vía Versalles	Valle	04° 33' 54"	076° 11' 11"	1798
11,3	Anserma Nuevo	Valle	04° 45' 26"	076° 04' 48"	1217
12,4	Vía Anserma Nuevo vía la Argelia	Valle	04° 47' 44"	075° 59' 56"	1043
13,5	Vía Anserma Nuevo, la pedrera	Valle	04° 48' 57"	075° 59' 07"	982
14,6	Vía Anserma Nuevo la Argelia	Valle	04° 50' 38"	075° 58' 41"	1000
15,7	Vía Anserma Nuevo el Aguila	Valle	04° 51' 21"	076° 01' 18"	1235
16,8	Armenia	Quindio	04° 33' 53"	075° 39' 38"	1500
17,9	Filandia	Quindio	04° 40' 24"	075° 39' 54"	1900
18,10	Vía Filandia Quimbaya	Quindio	04° 39' 26"	075° 40' 38"	1824
19,11	Vía Quimbaya Alcalá	Valle	04° 38' 35"	075° 46' 35"	1359
20,12	Vía Quimbaya Alcalá	Valle	04° 39' 58"	075° 46' 52"	1324
21,13	Entrada a Alcalá	Valle	04° 40' 35"	075° 47' 00"	1309
22,14	Alcalá	Valle	04° 40' 26"	075° 46' 42"	1280
23,14	Alcalá	Valle	04° 40' 26"	075° 46' 42"	1280
24.1	Guacari	Valle	03° 47' 6,13"	076° 13' 7,21"	1698

Código	Municipio	Departamento	Coordenadas Geográficas		Altura (msnm)
			Latitud N	Longitud O	
25.2	Darien	Valle	03° 53' 19,3"	076° 26' 8,95"	1547
26.3	Darien	Valle	03° 55' 9,42"	076° 27' 39,9"	1483
27.4	Vía Buga, Loboguerrero	Valle	03° 49' 8,53"	076° 35' 6,02"	1481
28.5	Vía Loboguerrero, Cali	Valle	03° 57' 52,1"	076° 40' 11,8"	1191
29.6	Vía Bitaco, La Cumbre	Valle	03° 35' 9,57"	076° 36' 10,7"	1543
	Pereira	Risaralda	04° 50' 6,65"	075° 40' 47,4"	1425
30.1	Vía Chinchina, Manizales	Caldas	05° 01' 59,2"	075° 35' 27,8"	1237
31.2	Fresno, Vía Padua	Tolima	05 08' 8,02"	075° 06' 6,57"	2020
32.3	Mariquita	Tolima	05°09'27,9"	075°02'9,46"	1282
33.4	Vía Palo Cabildo	Tolima	05° 06' 6,67"	075° 02' 6,27"	1491
34.5	Casa Blanca	Tolima	05° 05' 32,9"	075° 05' 5,61"	1860
35.6	Vía Casabianca Líbano	Tolima	05° 04' 58,2"	075° 07' 31,0"	1953
36.7	El Líbano, vía Casabianca	Tolima	04° 55' 34,4"	075° 04' 7,72"	1678
37.8	Vía Líbano Ibagué	Tolima	04° 57' 43,6"	074° 59' 21,2"	1252
38.9	Vía Ibagué Cajamarca	Tolima	04° 57' 36,2"	074° 59' 24,9"	1249
39.10	Vía Popayan- Timbio	Cauca	02° 20' 52"	076° 41' 55,3"	1877
40.1	Vía Popayan- Timbio	Cauca	02° 22' 45,5"	076° 40' 6,76"	1800
41.2	Vía Popyan - Cali	Cauca	02° 33' 21,3"	076° 40' 6,76"	1735
42.3	Pescador	Cauca	02° 50' 33,5"	076° 32' 53,9"	1400
43.4	Vía Villarica el Puerto	Cauca	03° 11' 18,7"	076° 26' 51,3"	1026

DND: dato no determinado

Experimento 1: Prueba de rendimiento en campo

Se determinó:

Altura de dosel (HD) (cm). La cual se determinó semanalmente durante dos meses midiendo desde la estaca sembrada hasta la punta de la hoja bandera. Se promediaron los cinco sitios de cada introducción.

Ramas por sitio (RS) (N°). El conteo se realizó de forma manual.

Biomasa forrajera. La cosecha del forraje integral (tallos más laminas foliares) se realizó cada 60 días en estado de preflorescencia. La biomasa total se determinó mediante corte manual con machete del dosel completo a 40 cm. Se determinó el peso en campo con una báscula digital portátil marca MC® de fabricación China.

Relación hoja/tallo (HT) (kg). Se determinó pesando por separado las hojas (PH) y los tallos (PT) para hacer el cálculo de la relación hoja/tallo medido en kgkilogramos.

Materia seca (MS) (%). Se tomaron muestras al azar por sitio de 250 g, siguiendo el protocolo de Nielsen (1998). Las muestras se trataron en una estufa de secado Binder® serie FD 53 a 120°C por 24 horas.

Productividad (P/ha) (kg/ha). Se calculó la productividad por superficie medida en cantidad (kg) de materia seca por hectárea.

Índice de Potencial Forrajero Ponderado (IPFP). Con base en las anteriores mediciones se calcula un IPFP aplicando el modelo de Ospina *et al.* (2002) (Ecuación 1) con base al estudio de Stewart y Dunsdon (1998) según el cual valores altos para cada característica que entra en ecuación son los deseables:

$$IPFP = \sum_{n=1}^{44} F_{(1)} \left(\frac{Xi_{(intr)} - X_{(1)}}{S_{(1)}} \right)$$

Donde:

Xi (int) : promedio de la i . ésimas características para la introducción int. Con i : 1,2,...k características

$X(i)$; promedio general de la característica i -ésima considerando todas las introducciones

$S(i)$: desviación estándar general de la característica i -ésima considerando todas las introducciones.

$F_{(1)}$: Factor de ponderación determinado con base al peso de las comunalidades constituidas con la matriz de correlaciones de las variables originales según el ACP siguiendo el procedimiento usado por Ordoñez (2014) y por Carmona (2014).

Experimento 2. Índice de Rendimiento y Calidad Estandarizado Ponderado (IRCEP).

Se calcula con base en medidas directas tomadas en campo de las cuales se derivó la selección de las 8 introducciones. Se tomaron mediciones de crecimiento y desarrollo de ramas cada 8 días. Esto se hizo en una muestra de cinco ramas en cada una de las introducciones, las cuales fueron marcadas con una cinta de color rojo para su identificación durante todo el periodo de monitoreo. A los 60 días se midió biomasa fresca en campo de área de dosel y área foliar, según el protocolo.

Para calcular el IRCEP se aplica el modelo de Ospina *et al.* (2002) (Ecuación 1) donde las variables involucradas en el IRCEP son:

Tasa de Crecimiento (TAC) (gr/día). Se calcula con base en la ecuación $TAC = (\text{peso } 1 - \text{Peso } 2) / (\text{tiempo } 1 - \text{tiempo } 2)$, evaluando cinco muestras por cultivar.

Altura de Dosel (HD) (cm). Se calcula determinando la altura desde el suelo hasta la punta de la rama bandera.

Área Dosel (AD) (m). Se estima con base en la ecuación para el cálculo del área del círculo. Para ello, se toma la medida de dos diámetros perpendiculares del área de dosel y cada uno se divide entre 2 para luego desarrollar la ecuación $A = \pi (D1/2 * D2/2)$, donde D es el diámetro.

Área Foliar (AF) (cm). Se tomaron 10 hojas (cinco de la parte alta y cinco de la parte baja) al azar de cada introducción, las cuales fueron fotocopiadas y luego escaneadas. Las imágenes escaneadas fueron procesadas siguiendo el protocolo del software libre ImageJ® 1.47v, para obtener el área foliar de cada hoja; posteriormente, se promediaron los valores para cada introducción.

La biomasa en materia seca (BMS). Se estimó multiplicando el peso fresco por el porcentaje de materia seca (MS) determinado en una estufa a 105 °C por 24 h, siguiendo el protocolo de AOAC (1995).

Calidad del forraje. Definida mediante el análisis químico para lo cual se determinó proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) siguiendo los protocolos de AOAC (1995).

El Valor Relativo Forrajero (VRF). Se calculó con base en el modelo para bovinos de Mertens (1987):

$$\text{VRF} = \text{Consumo} \times \text{Digestibilidad} / 1.29$$

Donde:

$$\text{Consumo} = 120 / (\text{FDN})$$

$$\text{Digestibilidad} = 88.9 - 0.779 \times (\text{FDA})$$

Con base en los datos analizados en ésta prueba se escogieron las cinco introducciones con mayor IRCEP. En el índice se incluyeron tres tipos de variables: el primer tipo, correspondió a rasgos físicos de la planta (TAC, HD y AD); El segundo, fue caracterizado por la producción

de forraje dado por AF y BMS y el tercer grupo, define la calidad del forraje dado por el porcentaje de MS, PC y el VRF de cada introducción.

Análisis estadístico

Experimento 1.

Los datos de las variables analizadas fueron ordenados en una hoja de Microsoft Excel® para determinar medidas estadísticas de tendencia central (promedio) y dispersión -desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV)-, mediante un análisis univariado para determinar la variabilidad de los indicadores morfoagronómicos.

Con el objeto de agrupar las introducciones en función de diferentes criterios de evaluación de manera integrada, se hizo un análisis multivariado. Primero, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el objeto de identificar las variables de mayor peso en la diferenciación de las introducciones, cuyo resultado fue expresado en una gráfica biplot. Posteriormente, se hizo un agrupamiento de las 44 introducciones mediante un análisis de conglomerados (AC) con base en las variables antes explicadas para identificar el grupo con mejores características agronómicas. Esta técnica busca conformar grupos que presenten la menor variabilidad posible dentro de sí mismos y los que presenten la mayor variabilidad entre otros grupos (Di Rienzo *et al.* 2008)

Para analizar la diferencia de medias de las diferentes variables entre conglomerados se hizo una prueba de T de Student. Los análisis multivariados y la prueba de diferencia de medias se realizaron en el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.* 2008). Finalmente, del conglomerado con mejores características agronómicas se

escogieron las introducciones más rindidoras con base en el IRPE.

Experimento 2.

En el experimento 2 la selección de las variables con mayor potencial forrajero se realizó mediante la aplicación del IRCEP.

TABLA 2. Medidas de tendencia central y dispersión del análisis univariado de introducciones (n = 44) de *T. diversifolia* evaluadas en Candelaria, Valle del Cauca.

Parámetros	RS (N°)	HD (m)	TAC (gr/día)	PH (kg)	PT (kg)	H/T (kg)	MS (%)	P/ha (kg/ha)
Promedio	12,08	2,46	86,54	0,52	0,43	1,70	17,57	9191,13
Desviación estándar	4,81	0,40	52,16	0,20	0,28	1,19	4,40	5557,21
Coefficiente de variación	39,80	16,39	60,27	39,39	65,61	70,06	25,05	60,46

RS: Ramas por sitio, **HD:** Altura de dosel, **TAC:** Tasa de Crecimiento, **PH:** Peso de las hojas, **PT:** Peso del tallo, **HT:** Relación hoja tallo, **MS:** Materia seca, **P/ha:** Productividad por hectárea.

La alta variabilidad en TAC, PT, H/T Y P/ha sugiere una respuesta diferente de la especie a la variabilidad del espacio geográfico del cual fueron obtenidos los materiales; esta variabilidad se expresa en diferentes órdenes de suelos, condiciones climáticas y de manejo antrópico en los espacios de procedencia de las introducciones. Según Hidalgo (2003), se espera que a mayor rango de dispersión geográfica de una especie vegetal, ocurra una mayor variabilidad. Tal variabilidad constituye un criterio básico en la tipología, ya que un coeficiente de variación (CV) alto en una variable determinada, sugiere una condición de heterogeneidad que se expresará en la tipificación. Por el contrario, un menor CV y una baja desviación estándar sugieren una baja variabilidad, por lo cual, posiblemente su influencia en el agrupamiento del análisis multivariado sea menor, como fue el caso de la MS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Exceptuando los valores de la HD, los altos coeficientes de las variables (RS, TAC, PH, PT, H/T, MS y P/ha) indican mayor heterogeneidad de los valores, por lo cual se procedió a un análisis multivariado con base estas últimas siete variables (Tabla 2).

Análisis multivariado

El conjunto de datos representado por siete variables y 44 introducciones fue sometido a un análisis de componentes principales (ACP), con el cual el número de variables fue reducido, con una pérdida mínima de información. Los autovalores muestran que el primer componente con un valor $\lambda = 3$ explica el 43% de la variación, el segundo componente con un valor $\lambda = 1,48$ explica el 21% de la variación y el tercer componente con un valor $\lambda = 1,14$ explica el 16% de la variación. De acuerdo con lo explicado por Rojas (2003) se observa que la varianza asociada con cada componente principal es diferente y va decreciendo en orden. Estos tres primeros componentes explican el 80% acumulado de la variación del total de la muestra, lo que concuerda con López e Hidalgo (1994) quienes sugieren que se deben considerar como aceptables los com-

ponentes cuyos valores propios expliquen un 70% o más de la varianza total.

Esto permite la reducción de las variables a tres componentes (variables artificiales), donde el primer componente (productividad) se encuentra explicado principalmente por las variables TAC, P/ha y RS, con coeficientes de 0,53; 0,49 y 0,50, respectivamente. El segundo componente se explica por la variable H/T con un coeficiente de 0,70, variable que es inversa a PT, por lo cual esta última tiene un coeficiente negativo de -0,62. El tercer componente está representado por la variable MS con un coeficiente de 0,90.

En la Figura 1 se observa que con estos dos ejes se explica el 64% de la variabilidad total en las observaciones. CP1 separa las introducciones entre las que tienen alta productividad influenciada por las variables RS, P/ha y TAC, en tanto que otro grupo de introducciones se relacionan por una alta relación H/T. Al interpretar

las asociaciones entre variables según los ángulos de los vectores que los representan, se puede inferir que las primeras variables con ángulos agudos indican correlaciones positivas, en tanto que H/T respecto a PT presenta un ángulo obtuso correspondiendo una correlación negativa entre las variables. La MS es una variable que no constituye variación significativa en las diferentes introducciones como se indicó en el análisis univariado, esto concuerda con la FCA (2014) en el sentido de que si no se estandarizan los datos, las longitudes de los vectores son proporcionales a las varianzas de las variables, de tal manera que un vector de poca longitud sugiere poca variabilidad en la respectiva variable, como es el caso de la MS (Figura 1). Siguiendo a Rojas (2003) se observa que la distancia al origen indica que las variables H/T y PT son las más importantes, siendo su contribución mayor mientras más distantes se encuentren.

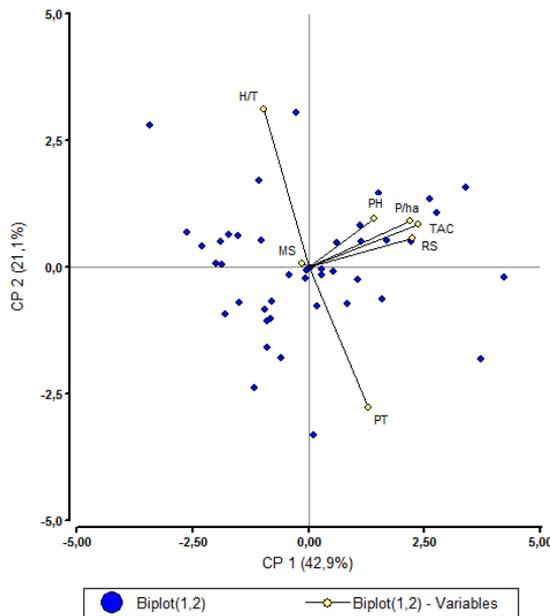


FIGURA 1. Análisis biplot para 44 introducciones de *T. diversifolia*

El peso de las diferentes variables hace que las introducciones se ubiquen en diferentes grupos, los cuales pueden apreciarse en el dendrograma resultante del análisis de conglomerados (AC) realizado con la técnica de Ward (1963) (Figura 2). De acuerdo con Valerio *et al.* (2004) la tipificación tiene como propósito agrupar

individuos de acuerdo con sus principales diferencias y relaciones, buscando maximizar la homogeneidad dentro de los grupos y la heterogeneidad entre ellos. Según Di Rienzo *et al.* (2008) esta técnica conforma conglomerados que presentan la menor variabilidad entre las introducciones del mismo grupo y la mayor entre las medias de los grupos.

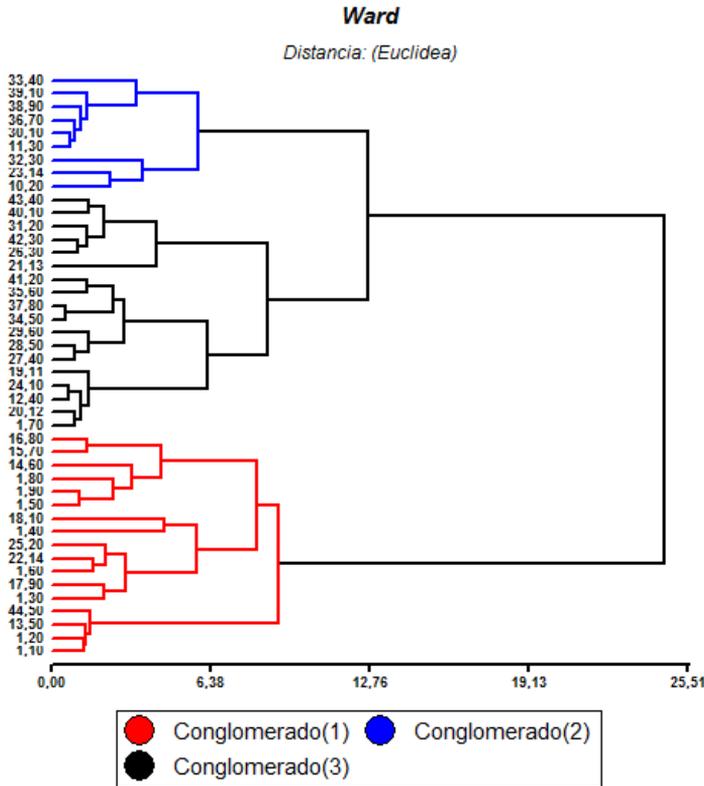


FIGURA 2. Dendrograma de las 44 introducciones de *T. diversifolia* analizadas por análisis de conglomerados.

Siguiendo a Di Rienzo *et al.* (2008) fijando un criterio de corte arbitrario en la distancia 13 del eje X, las 17 introducciones del conglomerado 1 se separa del resto y por la procedencia se deduce que son materiales provenientes del valle geográfico del Cauca, principalmente de

topografías planas. Este conglomerado se separa del otro agrupamiento en el cual se diferencian los conglomerados 2 y 3, los cuales incluyen introducciones de topografías de ladera, principalmente de los departamentos de Cauca y Tolima, aunque en ambos conglomerados también se cuenta

con introducciones provenientes del valle geográfico del Cauca. Son los materiales del conglomerado 1, los que presentan mejores indicadores de productividad (RS, TAC y P/ha) con diferencias significativas frente a las introducciones de los otros conglomerados (Tabla 3). De hecho, fueron las plantas que lograron mayor altura, aunque esta variable no se usó en el análisis multivariado por su bajo coeficiente de variación y por tanto solo se la reporta como información, pero no se tiene en cuenta en la discusión. En el Conglomerado 2 se agruparon las introduc-

ciones que tienen una mejor relación H/T, aunque los valores numéricos de las otras variables son los más bajos, exceptuando PH. La MS fue una variable que no tuvo diferencias significativas entre los conglomerados, como se había previsto en el análisis univariado, aunque se encuentra dentro de los rangos reportados para esta especie en diferentes estudios, como lo reportado por Lezcano *et al.* (2012) con datos de materia seca de la *T. diversifolia* que varían desde 13,5% hasta 25,0%, en función de la edad y la frecuencia de corte.

TABLA 3. Características físicas y productivas de 44 introducciones de *T. diversifolia* clasificadas en tres conglomerados y evaluadas en el Valle del Cauca.

	Conglomerados		
	1 n =17	2 n =9	3 n =18
Ramas por sitio (n.º)	15,44 ± 4,82 b	7,61 ± 2,19 a	11,14 ± 3,39 a
Tasa de crecimiento (gr/día)	132,16 ± 50,21 b	52,08 ± 34,24 a	60,68 ± 33,19 a
Peso de hoja (gr)	0,66 ± 0,25b	0,43 ± 0,10a	0,42 ± 0,08a
Peso de tallo (gr)	0,53 ± 0,25b	0,14 ± 0,05a	0,48 ± 0,30b
Relación hoja/tallo (gr)	1,41 ± 0,57 a	3,41 ± 1,59b	1,13 ± 0,52 a
Materia seca (%)	18,90 ± 4,82 a	18,40 ± 3,53a	15,89 ± 4,02 a
Productividad (MS/ha)	14633,92 ± 4480,84b	5660,06 ± 3512,05a	5816 ± 2264,64a
Altura (m)	2,62 ± 0,43b	2,14 ± 0,42a	2,48 ± 0,27ab

Con el análisis de conglomerados se pudo separar el grupo de introducciones más rendidoras. Dentro de estas, se analizaron las comunalidades hasta los tres componentes seleccionados del ACP para definir los factores de ponderación de cada indicador que en este estudio integran el IPFP. La comunalidad total estimada fue de 5,64, con base en la cual

se estimaron los factores de ponderación: 0,14; 0,16; 0,08; 0,14; 0,15; 0,17 y 0,16, para RS, TAC, PH, PT, H/T, MS y P/ha, respectivamente.

El alto coeficiente de ponderación para la materia seca es coherente con la respuesta productiva de las introducciones, en la medida que esta variable es el reflejo del comportamiento de materiales que poseen

una alta capacidad de crecimiento clonal, en especial durante la época de lluvias, cuando las raíces adventicias y las yemas jóvenes emergen desde diferentes materiales de propagación, sexual o asexual, y se da la producción de nuevos brotes de yemas a partir de un corte (Muoghalu 2010). Estas características le dan capacidad de

formar dosel, aumentando la competencia por espacio con otras plantas (Olabode *et al.* 2010; Sun *et al.* 2008) y por ende un importante potencial de mayor producción de materia seca de alta calidad nutricional. El IPFP constituyó un indicador para escoger ocho introducciones promisorias por su respuesta productiva (Tabla 4).

TABLA 4. Introducciones seleccionadas del conglomerado 1 bajo aplicación de un índice de Potencial Forrajero Ponderado.

Código	RS	HD	TAC	PH	PT	H/T	MS	P/ha	IPFP
17.9	25	2,8	182,3	0,6	0,32	1,9	19,3	21770,6	1,09
1.4	17,5	2,4	217,7	0,26	1,24	0,2	16,2	21857,1	0,98
22.14	17	3,5	175,2	0,74	0,44	1,7	18,9	20533,6	0,88
1.8	17,5	2,7	140,3	1,16	0,52	2,2	17,4	15165,1	0,85
13.5	15	2,7	111,9	0,48	0,34	1,4	25,5	17665,5	0,61
1.3	20	2,4	119,0	0,54	0,38	1,4	20,4	15069,8	0,55
1.2	13,5	2,5	95,8	0,36	0,56	0,6	26,7	15864,6	0,48
1.6	15,5	2,8	190,3	0,52	0,42	1,2	14,6	17208,3	0,47

Estas ocho introducciones fueron sometidas a un segundo proceso de valoración bajo el criterio de indicadores de calidad y potencial forrajero. Estos indicadores se integraron en un índice que permitió evaluar diferentes materiales con base a variables de rendimiento y calidad. De acuerdo con Ospina *et al.* (2002) el índice permite integrar variables para comparar las procedencias y seleccionar las más sobresalientes; su confiabilidad es buena en la medida de que el índice es el resultado del aporte de una característica que se expresa como la diferencia entre el promedio de dicha característica medida en la procedencia de interés y el promedio general de todas las procedencias, en unidades de desviación estándar general (Stewart y Dunsdon 1998).

Experimento 2.

Aunque las introducciones fueron clasificadas inicialmente en forma diferente por cada rasgo respecto a cuándo se analizaron juntos, los diferentes criterios ayudaron a clarificar las fortalezas relativas de las introducciones en función de las características físicas, productividad y calidad. Así, como se aprecia en la Tabla 5, las introducciones 22.14 y 17.9 sobresalen por características físicas y de productividad, aunque su desempeño en términos de calidad no fue deseable. En tanto que 1.3 y 1.8 son sobresalientes por atributos de calidad, especialmente por el VRF que es un índice sin unidades, que permite comparar la calidad de los forrajes de leguminosas, gramíneas y sus

mezclas, bien sean en fresco, ensiladas o henificadas (Bastidas *et al.* 2010). De hecho, los valores de FDA que es la que más incide en la digestibilidad, en estas introducciones son bajos (Tabla 5).

Sin embargo, con base en los resultados obtenidos para el VRF estas introducciones mejor calificadas apenas se clasifican en la

categoría “de segunda” por encontrarse en el rango de 124-103 según la clasificación de la *American Forage and Grassland Council* (Calsamiglia 1997). Por el contrario, nótese que la introducción 1.4 tiene un alto porcentaje de proteína pero un VRF bajo, derivado del alto contenido de FDN y FDA (Tabla 5).

TABLA 5. Características físicas, productivas y de calidad de ocho introducciones de *T. diversifolia* evaluadas en el Valle del Cauca.

Introducción		TAC	Altura	AD	AF	BMS/ planta	MS	FDN	FDA	PC	VRF
		(gr/d)	(cm)	(m)	(cm)	(kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1.2	Media	90,3	217,7	3,7	68,4	2	24,9	52,8	48,53	12,9	90,1
	DE	20	32,3	1	14,9	0,6	0,9	1,49	0,03	0,46	2,51
1.3	Media	78,9	177	3,3	66,2	1,4	23,2	46,65	45,95	11,4	106
	DE	39,4	35,3	1	20,2	1,1	2,3	0,36	0,4	5,59	0,56
1.4	Media	58,5	180,8	3	66,4	1	24,8	53,04	60,68	23	73
	DE	50,2	47,8	1,8	8	1,3	0,4	1,48	1,52	9,17	0,92
1.6	Media	66,4	195,3	2,4	61	0,6	22,2	43,92	56,65	10,3	94,8
	DE	59,6	55,4	2,3	10,6	0,6	0,6	0,77	0,3	0,32	1,16
1.8	Media	68,3	193	1,4	75,2	1,4	23,3	47,67	45,85	12,5	104
	DE	21,3	19,3	1,3	13,4	0,4	1	1,68	1,73	0,31	6,29
13.5	Media	102,4	187,4	4,4	59,5	1,5	24,7	44,10	58,01	10,7	92,2
	DE	23,1	25,3	1,2	20,8	1,1	0,8	0,35	3,05	0,72	4,28
22.14	Media	166,5	232,4	5,1	69,4	2,1	21	50,45	56,20	11	83,2
	DE	17,1	47,7	0,5	20,8	1,9	2,5	0,07	0,93	0,92	1,22
17.9	Media	138,4	261,2	4,4	72,5	2	24,9	54,48	54,48	16,2	78,7
	DE	37,2	24,9	1,5	15,6	2	2,3	8,3	8,31	0,53	12,5

TAC: Tasa de crecimiento, **HD:** Altura de dosel, **(AD):** Área de dosel, **AF:** Área foliar, **BMS/planta:** Biomasa de materia seca/por planta, **MS:** Materia seca, **FDN:** Fibra detergente neutro, **FDA:** Fibra detergente ácido, **PC:** proteína cruda, **VRF:** Valor relativo forrajero.

En este segundo experimento, se tomaron las comunales hasta los dos primeros componentes del ACP que explican

el 69% de la variación y se definieron los factores de ponderación de cada indicador que en este estudio integran el ICERP. La

comunalidad total estimada fue de 4,91, con base en la cual se estimaron los factores de ponderación: 0,20; 0,16; 0,02; 0,16; 0,11; 0,18 para TAC, AD, AF, BMS, MS, PC y VRF, respectivamente.

Una vez hecha la evaluación integral mediante la fórmula de Ospina *et al.* (2002) por la combinación ponderada

de factores se seleccionaron las introducciones 1.2, 17.9, 22.14 y 13.5 como las introducciones con mayor IRCEP (Figura 3), las cuales constituyen un material vegetal que puede cultivarse bajo las condiciones de suelos vertisoles logrando obtener los mejores rendimientos y calidad nutricional.

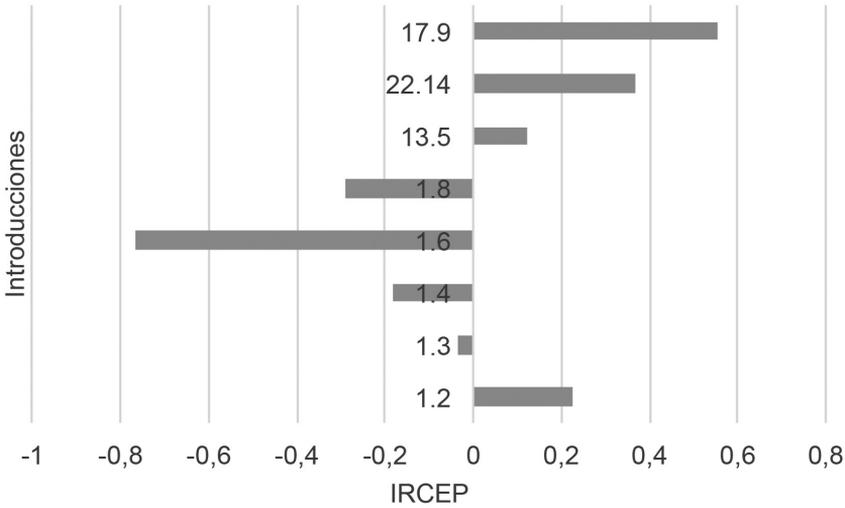


FIGURA 3. IRCP para ocho introducciones de *T. diversifolia* evaluadas en el Valle del Cauca

CONCLUSIONES

Las introducciones de mayor producción forrajera fueron agrupadas en el conglomerado 1, las cuales fueron diferentes del resto de introducciones. En este conglomerado, las procedencias son destacadas por productividad de forraje, presentando como características sobresalientes la elevada tasa de crecimiento, el número de ramas por sitio y la productividad por hectárea. Este grupo contrastó de manera relevante con las introducciones del Conglomerado 2 que se destacaron en la relación H/T y por un mayor peso de las hojas, variable que puede ser un indicador de calidad de forraje.

La caracterización cuantitativa permitió avanzar en el conocimiento de la

variabilidad dentro de la especie, en cuanto a producción de forraje, y el análisis multivariado facilitó la discriminación entre introducciones, con base a rasgos que normalmente pasan desapercibidos y que se expresan de manera diferente en diversidad de ambientes.

La evaluación integral mediante el IRCEP permitió identificar las cuatro introducciones más prometedoras en términos de productividad y calidad para ser manejadas en suelos vertisoles, previa realización de pruebas adicionales bajo diferentes condiciones climáticas.

Un índice compuesto como el IRCEP constituye una herramienta de utilidad en la toma de decisiones con criterios múltiples, pues cuando se clasifican las introducciones

con base a indicadores de cantidad o calidad de manera independiente, los resultados son diferentes a los de un índice que integra múltiples criterios. Cabe resaltar, sin embargo, que hay indicadores que pueden tener una mayor relevancia en el análisis de las variables; de hecho, las introducciones promisorias, determinadas por el IRCEP, son las que presentan menores contenidos de FDA y pared celular. A diferencia de la PC que es un indicador de calidad de un forraje, pero que no necesariamente coincide con un buen VRF bajo, en virtud de que este está condicionado a los contenidos de FDN y FDA

Agradecimientos

Al Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira por facilitar el desarrollo de esta investigación. A la Universidad del Tolima por el financiamiento de los estudios doctorales del primer autor.

REFERENCIAS

Achieng JO, Ouma GG, Odhiambo GG, Muyekho FF. 2010. Effect of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) and inorganic fertilizers on maize yield on Alfisols and Ultisols of western Kenya. *Agric Biol J N Am.* 1(5): 740-747. Doi: 10.5251/abjna.2010.1.5.740.747.

Acosta JR, Aragón M, Llanos Y, Madero E. 1997. Cartografía ultradetallada de suelos y evaluación de tierras del centro experimental de la Universidad Nacional de Colombia (CEUNP) sede Palmira. *Acta Agron.* 47(1): 23-34.

[AOAC]. Association of Official Analytical Chemists. 1995. Official methods of analysis of AOAC International.. 16^o edition. Washington D. C: AOAC International.

Bastidas L, Rea R, De Sousa O, Valle A, Ventura J. 2010. Calidad forrajera de cinco variedades de caña de azúcar en Santa Cruz de Bucaral, Estado Falcón, Venezuela. *Rev Estu Transd.* 2(2): 63-75.

Bernal L, Suárez RA. 2011. La producción de forraje en el contexto del cambio climático. *Rev Cienc Anim.* 4: 7-14.

Calsamiglia S. 1997. Nuevas bases para la utilización de la fibra en dietas de rumiantes. [Internet]. En: Memorias XIII Curso de Especialización Fedna; 1997 nov. 6-7; Barcelona (España): Departamento de Patología y Producción Animal, Universidad Autónoma de Barcelona. p. 1-16; [citado 2014 noviembre 15]. Disponible en: http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/UsodeFibraenRumiantes.pdf.

Carmona F. 2014. Un ejemplo de ACP paso a paso. [Internet]. Barcelona (España): Departament d'Estadística, Universitat de Barcelona; [citado 2014 nov. 15]. Disponible en: <http://www.ub.edu/stat/docencia/Mates/ejemploACP.PDF>.

Di Rienzo JA, Balzarini MG, Casanoves F, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2008. InfoStat versión 2008. Córdoba (Argentina): Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

[FCA] Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. 2014. Aplicaciones del análisis estadístico multivariado. Córdoba (Argentina): Aulas Virtuales, Universidad Nacional de Córdoba. [Citado 2014 nov. 11]. Disponible em: <http://www.fca.proed.unc.edu.ar/mod/book/view.php?id=3458&chapterid=353>.

Fujisaka S, Holmann F, Peters M, Schmidt A, Burgos C, Mena M, Posas MI, Cruz H, Davis C, Hincapié B. 2005. Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. *Past Trop.* 27(2): 3-92.

Garzón EF, Mora-Delgado J. 2014. Análisis multicriterio del estado de las pasturas de la hacienda ganadera García Abajo en Corinto (Cauca, Colombia). *Rev Med Vet Zoot.* 61(1): 64-81. Doi: 10.15446/rfmvz.v61n1.44182.

Hidalgo R. 2003. Variabilidad Genética y Caracterización de Especies Vegetales. En: Franco T L, Hidalgo R, editores. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico nro. 8. Cali (Colombia): Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). p. 2-27.

Holmann F, Rivas L, Argel PJ, Pérez E. 2004. Impacto de la adopción de pastos *Brachiaria*: Centroamérica y México. Documento de Trabajo No. 197. [Internet]. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Disponible en: <https://cgs-space.cgiar.org/bitstream/handle/10568/2212/Adopcin%20de%20pastos%20Brachiaria%20en%20CA%20%20Mex-final.pdf?sequence=1>.

- Lezcano Y, Soca M, Sánchez LM, Ojeda FF, Olivera Y, Fontes D, Santana HH. 2012. Caracterización cualitativa del contenido de metabolitos secundarios en la fracción comestible de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. Pastos y Forrajes. 35(3): 283-292.
- López JA, Hidalgo MD. 1994. Análisis de componentes principales y análisis factorial. En: Ato M, López JJ, editores. Fundamentos de estadística con Systat. Addison Wesley Iberoamericana/RAMA. p. 457-503.
- Mertens DR. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. J. Anim Sci. 64(5): 1548-1558.
- Muoghalu JI. 2010. Growth, reproduction and resource allocation of *Tithonia diversifolia* and *Tithonia rotundifolia*. Weed Research. 48(2): 157-162. Doi: 10.1111/j.1365-3180.2007.00613.x
- Nielsen SS, editor. 1998. Food Analysis. Gaithersburg (MD): Aspen Publishers, Inc.
- Olabode OS, Adesina GO, Ajibola AT. 2010. Seasonal effects on the critical period for weed removal and okra performance on *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray infested field. Ann Biol Res. 1(4): 67-72.
- Ordoñez H. 2014. Estudio de la sustentabilidad de los sistemas de producción de café mediante indicadores en el municipio de La Unión, Nariño. [Tesis Doctoral]. [Palmira (Colombia)]: Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
- Ospina S, Rosales M, Ararat JE. 2002. Variación genotípica en la composición química y digestibilidad de *Trichanthera gigantea*. Agroforestería en las Américas. 9(33-34): 24-32.
- Roche H, Vejo C. 2005. Análisis multicriterio en la toma de decisiones. [Internet]. Montevideo (Uruguay): Universidad de la República; [citado 2014 febrero 15]. Disponible en: <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf>.
- Rodríguez CA. 1999. Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas de un vertisol ústico y sobre la producción de *Sorghum bicolor* en el Valle del Cauca. [Trabajo de grado Ingeniería Agronómica]. [Palmira (Colombia)]: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira..
- Rojas W. 2003. Caracterización morfológica de germoplasma estudios de casos: Caso 1. Análisis de la variabilidad genética en quinua. En: Franco T L, Hidalgo R, editores. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico nro. 8. Cali (Colombia): Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). p. 27-40 p
- Ruiz TE, Torres V, Febles G, Díaz H, Sarduy L, González J. 2012. Utilización de la modelación para estudiar el crecimiento de *Tithonia diversifolia* colecta 10. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46(3): 243-247.
- Stewart JL, Dunsdon AJ. 1998. Preliminary evaluation of fodder quality in a range of *Leucaena* species. Agroforestry Systems. 40: 177-198.
- Sun WB, Chen G, Wang SH. 2008. Characteristics of *Tithonia diversifolia*: an alien invasive plant in Yunnan, south-west China. En: Memories 3° Global Botanic Gardens Congress. Building a sustainable future: the role of botanic gardens; 2007 abr. 16-20; Wuhan (China). BGCI. p. 1-7.
- Valerio D, García A, Acero R, Castaldo A, Perea J, Martos J. 2004. "Metodología para la caracterización y tipificación de Sistemas Ganaderos". [Internet]. En: Documentos de Trabajo Producción Animal y Gestión. Córdoba (España): Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba. Disponible en: http://www.uco.es/zootecnia-ygestion/img/pictorex/14_19_10_sistemas2.pdf
- Ward JH, Jr. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. Journal of the American Statistical Association. 58: 236-244.

Article citation:

Holguín VA, Ortiz Grisalez S, Velasco Navia A, Mora-Delgado J. 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, Valle del Cauca [Multi-criteria evaluation of 44 introductions of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray in Candelaria, Valle del Cauca]. Rev Med Vet Zoot. 62(2): 57-72.
Doi: 10.15446/rfmvz.v62n2.51995.