

# Caracterización de la germinación en la semilla comercial de ocho cultivares de gramíneas forrajeras tropicales

Characterization of germination in the commercial seed of eight cultivars of tropical forage grasses

Caracterização da germinação de sementes comerciais de oito cultivares de gramíneas forrageiras tropicais

Orlando Guenni<sup>1\*</sup>, Leila Prías<sup>2</sup> y Lelys Bravo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Proyecto Prometeo. Facultades de Ciencias Agrarias y Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: orlandoguenni@gmail.com. <sup>2</sup>Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. Correo electrónico: leila.priasm@ug.edu.ec. <sup>3</sup>Universidad Simón Bolívar, CESMA, Sartenejas, Caracas, Venezuela. Correos electrónicos: lelysbbravo@gmail.com; lbravo@usb.ve.

## Resumen

En el establecimiento de las pasturas, la calidad de la germinación representa un evento crítico. El objetivo del presente estudio fue el de caracterizar la germinación en el híbrido Mulato II y otros siete cultivares comerciales de las especies *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola* y *Panicum maximum*. Se utilizaron tres índices de germinación: germinabilidad (G), valor de germinación (VG), y la tasa acumulada de germinación (TAG). Los datos diarios de germinación fueron ajustados con dos modelos de crecimiento de cuatro parámetros: Gompertz y Weibull. Los cultivares mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en G, teniendo Mombaza, Tanzania, Basilisk y Paiaguás valores entre 58 y 69% en comparación con Xaraés y Marandú (23-36%), y Tully y Mulato II (7-8%). Los otros índices permitieron diferenciar aún entre cultivares con G similares, el patrón temporal de incremento en la germinación. Tales diferencias estuvieron asociadas mayormente a variaciones en la fracción de germinación diaria máxima y/o TAG. Se logró un mejor ajuste de los datos de laboratorio con

---

Recibido el 01-03-2016. Aceptado el 22-04-17

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: orlandoguenni@gmail.com

la función Gompertz. Finalmente, se discute el significado biológico y agronómico de los parámetros involucrados y de los índices de germinación como herramienta para caracterizar la calidad de la semilla en gramíneas forrajeras.

**Palabras clave:** *Brachiaria*, *Panicum*, germinación, índices, modelos de crecimiento, ajuste.

### Abstract

Seed germination is a critical phase for the establishment of pastures. This study was carried out to characterize seed germination in Mulato II hybrid and seven other cultivars of the species *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola* and *Panicum maximum*. Three germination indices were used: germinability (G), germination value (GV), and cumulative speed of germination (SG). Daily germination data was adjusted with two growth models of four parameters: Gompertz and Weibull. Significant differences were observed among cultivars; Mombaza, Tanzania, Basilisk and Paiaguás showing greater ( $P \leq 0.05$ ) G values (between 58 and 69%) than Xaraés and Marandú (23-36%), and Tully and Mulato II (7-8%). The other indices allowed differentiating between cultivars even with similar G values, the temporal pattern of germination increment. Such differences were mostly associated with variations in the maximum daily germination percentage and/or SG. A better adjustment was found by using the Gompertz function. Finally, the biological and agronomical significance of the introduced parameters and the germination indices is discussed as tools to characterize seed quality in forage grasses.

**Key words:** *Brachiaria*, *Panicum*, germination, indices, growth models, fitting.

### Resumo

Em pastagens estabelecendo, a qualidade de germinação é um evento crítico. O objectivo deste estudo foi caracterizar a germinação do híbrido Mulato II e sete cultivares comerciais de espécies *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola* e *Panicum maximum*. Foram utilizados três taxas de germinação: germinabilidade (G), o valor de germinação (VG), e a taxa cumulativa de germinação (TAG). Os dados de germinação diárias foram ajustados com dois modelos de crescimento de quatro parâmetros: Gompertz e Weibull. As Cultivares mostraram diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) em G possuindo valores Paiaguás, Mombaza, Tanzania e Basilisk entre 58 e 69% em comparação com Xaraés e Marandú (23-36%), e Tully e Mulato II (7-8%). Os outros índices permitiram mesmo diferenciar entre cultivares com G semelhante, o padrão temporal do aumento da germinação. Tais diferenças foram associados principalmente a variações na fracção máximo de germinação diária e/ou TAG. Se obteve um melhor ajuste dos dados de laboratório com a função de Gompertz. Finalmente, a importância biológica e agronómico dos parâmetros envolvidos e as taxas de

germinação é discutido como uma ferramenta para caracterizar a qualidade da semente de gramíneas forrageiras.

**Palavras-chave:** *Brachiaria*, *Panicum*, germinação, modelos de crescimento, ajuste.

## Introducción

La importancia que los géneros *Brachiaria* y *Panicum* tienen en el mejoramiento de la ganadería en América tropical, radica en que ellos contienen la mayoría de las especies y cultivares con caracteres forrajeros ideales: rápido establecimiento, alta producción de biomasa seca y calidad nutricional, aceptabilidad animal y una excelente aclimatación a las condiciones locales donde se desarrollan sistemas intensivos de explotación de carne y/o leche (Skerman y Riveros, 1992; Argel y Keller-Grain, 1998; Pizarro *et al.*, 1998; Silva, 2004; Araújo *et al.*, 2008). Sin embargo, para garantizar el establecimiento exitoso de una pastura, se requiere disponer de semilla de buena calidad que genere plántulas vigorosas (Andrade y Ferguson, 1991; Peralta y Toledo, 1991; Cook *et al.*, 1993).

Al estudiar la calidad de la semilla en los pastos, se monitorean en general tres aspectos básicos relacionados con la estructura y fisiología de la unidad reproductiva: el genético, el físico, y la vitalidad o vigor (Hopkinson *et al.*, 1998). Los mismos varían en importancia relativa de acuerdo a la especie (Andrade y Ferguson, 1991). En el caso de las especies de *Brachiaria* y *Panicum*, la vitalidad o calidad fisiológica de la semilla es el aspecto más influenciado por el ambiente y por ende el más

## Introduction

The importance that the genera *Brachiaria* and *Panicum* have in the improvement of livestock production in Tropical America, relies in the fact that they have most of the species and cultivars with ideal fodder traits: rapid establishment, high dry biomass production and nutritional quality, animal acceptability and excellent acclimatization to the local conditions where intensive systems of meat and/or milk exploitation are carried out (Skerman and Riveros, 1992; Argel and Keller-Grain, 1998; Pizarro *et al.*, 1998; Silva, 2004; Araújo *et al.*, 2008). However, in order to guarantee the successful establishment of the pasture, it is required to have seeds of good quality to generate vigorous seedlings (Andrade and Ferguson, 1991; Peralta and Toledo, 1991; Cook *et al.*, 1993).

When pasture seed quality is studied, in general three basic aspects related to the structure and physiology of the reproductive unit are monitored: genetic, physical and the vitality or vigor (Hopkinson *et al.*, 1998). These aspects vary in terms of relative importance according to the specie (Andrade and Ferguson, 1991). In the particular case of the species *Brachiaria* and *Panicum*, the vitality or physiological quality of the seed is the the most influenced aspect by the environment and therefore, the most

investigado. Este parámetro tiene a su vez dos componentes: el primero es la viabilidad (germinabilidad) y vigor de la semilla; el segundo se refiere a la latencia, la cual afecta directamente el valor comercial de la misma. El mantenimiento de la vitalidad de la semilla dependerá del manejo inmediato post-cosecha y de las condiciones de almacenamiento (Hopkinson *et al.*, 1998). Por su parte, la latencia o dormancia es un fenómeno universal en las plantas y es definida como el estado en el cual la semilla no germina aun estando expuesta a condiciones óptimas de temperatura, humedad y aireación (Lambers *et al.*, 2008; Baskin y Baskin, 2014). La misma puede ser física (debido a la impermeabilidad y dureza de las carióspsides) o fisiológica (por inmadurez del embrión). Ambas están presentes en casi todos los grupos de gramíneas africanas domesticadas, y su presencia después de la maduración del fruto, posee una importancia ecológica fundamental: garantizar la germinación en el momento adecuado y permitir la persistencia en el banco de semilla del suelo (Hopkinson *et al.*, 1998; Koornneef *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2013; Baskin y Baskin, 2014). Desde el punto de vista agronómico, este carácter de la semilla implica más dificultades para conseguir un establecimiento rápido y homogéneo de la pastura.

Para conocer la calidad de la semilla de un lote en particular, el procedimiento clásico es seleccionar al azar del mismo, varias muestras estadísticamente representativas y llevar a cabo las pruebas de germinación

investigated. This parameter has two components: the first is the viability (germinability) and seed vigor; the second refers to seed dormancy, which affects directly the commercial value of it. The maintenance of the seed vigor will depend on the immediate post-harvest management and storage conditions (Hopkinson *et al.*, 1998). On the other hand, seed dormancy is an universal phenomenon in plants, and is defined as the phase in which the seed does not germinate even when it is exposed to optimum conditions of temperature, humidity and aeration (Lambers *et al.*, 2008; Baskin and Baskin, 2014). Seed dormancy can be physical (due to the impermeability or hardness of the caryopsis) or physiological (by the immaturity of the embryo). Both are present in almost all groups of domesticated African grasses, and their presence after the fruit's maturation has an important ecological impact: to guarantee the germination in the adequate moment and to allow long-term persistence in the soil seed bank (Hopkinson *et al.*, 1998; Koornneef *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2013; Baskin and Baskin, 2014). From the agronomic point of view, this seed trait implies more difficulties to obtain a fast and homogeneous establishment of the pasture.

To evaluate seed quality in a particular seed lot, the classical procedure is to select at random several statistically representative samples, and subsequently perform the corresponding germination tests (Andrade and Ferguson, 1991) following the international rules established (ISTA, 2005). However,

respectivas (Andrade y Ferguson, 1991) en función de las normas internacionales establecidas (ISTA, 2005). Sin embargo, la germinabilidad, determinada simplemente como el máximo de semillas germinadas para el final del experimento, es solo parte de la información suministrada por las pruebas de germinación. Parámetros simples como la velocidad y tiempo medio de germinación, así como el patrón temporal de germinación hasta alcanzar el máximo posible en un tiempo fijado, se constituyen en índices adicionales que pueden derivarse de los datos de germinación (Brown y Meyer, 1988a, 1988b; Ranal y Santana, 2006).

De los numerosos índices de germinación existentes en la literatura (Ranal y Santana, 2006), tres en particular merecen atención (McNair *et al.*, 2013): 1) germinabilidad (G), definida como el porcentaje máximo de germinación en un tiempo  $t$ , 2) el valor de germinación (VG), calculado como el producto entre a) el valor máximo obtenido del porcentaje de germinación diaria y b) el porcentaje promedio de germinación  $\text{día}^{-1}$  (germinabilidad  $\cdot t^{-1}$ ), y 3) la velocidad o tasa acumulada de germinación (TAG), calculada como la sumatoria, sobre todos los días de observación, de las velocidades diarias de germinación. Adicionalmente, los modelos o funciones de crecimiento no lineales y ajustadas a los datos temporales de germinación acumulada, añaden una serie de parámetros (definidos por la curva de ajuste utilizada) de utilidad biológica y práctica (Brown y Meyer, 1988b; Tomaz *et al.*, 2010; Szabelska *et al.*,

the germinability simply determined as the maximum of germinated seeds by the end of the experiment is only part of the information supplied by the germination tests. Simple parameters as the velocity and half-time of germination, as well as the temporal germination pattern to reach the maximum possible in a fixed time, constitute additional indices that can be derived from the germination data (Brown and Meyer, 1988a, 1988b; Ranal and Santana, 2006).

Out of the multiple germination indices published (Ranal and Santana, 2006), three are very important (McNair *et al.*, 2013): 1) germinability (G), defined as the maximum germination percentage in a given time  $t$ , 2) germination value (GV), calculated as the product between a) the maximum value obtained from the daily germination percentage and b) the average germination  $\text{day}^{-1}$  percentage (germinability  $\cdot t^{-1}$ ), and 3) cumulative speed of germination (SG) calculated as the sum over all the observation days, of the daily speeds of germination. Additionally, the models or functions of non-linear growth and adjusted to temporal data of cumulative germination, can incorporate a series of parameters (defined by the adjustment curve used) of biological and practical use (Brown and Meyer, 1988b; Tomaz *et al.*, 2010; Szabelska *et al.*, 2010; Tomaz *et al.*, 2016). Among these, the functions of cumulative distribution “Weibull” and “Gompertz”, are some of the most used functions. These two models are characterized by four important parameters: a) the delay

2010; Tomaz *et al.*, 2016). De estos, las funciones de distribución acumulada “Weibull” y “Gompertz”, son unas de las más utilizadas. Las mismas están caracterizadas por cuatro parámetros importantes: a) el retardo en el inicio de la germinación, b) el porcentaje máximo de semillas germinadas, c) la velocidad media de germinación y d) la variación en la velocidad de germinación (Brown y Meyer, 1998a).

El patrón de germinación definido de esta manera, representa un parámetro integral para analizar los datos de germinación, los cuales por lo demás, pueden ser también evaluados con métodos estadísticos no-paramétricos o semi paramétricos (Onofri *et al.*, 2010; McNair *et al.*, 2013). Este tipo de enfoque permite comparar, entre otros caracteres de la germinación, la variabilidad entre y dentro de muestras de semillas representando distintos genotipos o grupos de tratamientos.

En el presente trabajo, se estudió la germinación de la semilla proveniente de lotes comerciales en un total de ocho cultivares de gramíneas forrajeras, con el objeto de: a) determinar su potencial de germinación y conocer el grado de variación en el patrón de germinación observado entre y dentro de cultivares, y b) analizar las implicaciones de dicha variabilidad en términos de diagnóstico de calidad de la semilla comercial y el éxito de establecimiento en el campo.

## Materiales y métodos

En julio 2015 se recibieron de dos empresas agropecuarias del Ecuador,

at the beginning of the germination, b) the maximum percentage of germinated seeds, c) the mean speed of germination, and d) the variation in the germination speed (Brown and Meyer, 1998a).

The germination pattern defined in such a way, represents an integral parameter to analyze germination data, which can also be evaluated with non-parametric or semi-parametric statistical methods (Onofri *et al.*, 2010; McNair *et al.*, 2013). This type of approach allows comparing, among other germination traits, the variability among and within seed samples representing different genotypes of treatment groups.

In the current investigation, the seed from commercial lots was used to study the germination on eight cultivars of forage grasses, with the aim of: a) determining its germination potential and assessing the degree of variation in the germination pattern among and within cultivars, and b) analyzing the implications of such a variability in terms of the diagnose of the commercial seed quality and success of the field establishment.

## Materials and methods

On July 2015, we received samples (150-200 g) of seeds coming from two agro-industries. The seeds corresponded to cultivars *Brachiaria humidicola* cv. Tully (CIAT 679), *Brachiaria* hybrid Mulato II, *B. brizantha* cultivars Marandú, Xaraés and Paiaguás, *B. decumbens* cv. Basilisk, and *Panicum maximum* cultivars Mombaza and Tanzania.

muestras (150-200 g) de semilla de cada una de los siguientes cultivares: *Brachiaria humidicola* cv. Tully (CIAT 679), *Brachiaria* híbrido Mulato II, *B. brizantha* cultivares Marandú, Xaraés y Paiaguás, *B. decumbens* cv. Basilisk, y *Panicum maximum* cultivares Mombaza y Tanzania. Las mismas se conservaron por tres semanas en envases cerrados con tapa enroscable y en condiciones de laboratorio ( $\pm 25$  °C, HR: 50-60%), hasta el momento de iniciar las pruebas de germinación.

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guayaquil. Submuestras tomadas al azar de cada una de los lotes donados, se lavaron en una solución de hipoclorito de sodio (1%) por 5-10 minutos para eliminar hongos. Luego se dejaron reposando en agua destilada por 30 minutos, hasta ser colocadas en cápsulas de Petri conteniendo agar al 1% como medio para proveer la humedad necesaria para la germinación. En total se utilizaron cuatro repeticiones de 50 semillas por cápsula y por acesión o cultivar.

Las cápsulas de Petri conteniendo las semillas de los distintos materiales, se taparon y mantuvieron en una incubadora bajo condiciones de oscuridad y a temperatura de laboratorio (26-24 °C día/noche). Diariamente, se observaba cada cápsula con una lupa estereoscópica y se retiraban las semillas germinadas (cuya radícula brotaba sin ninguna deformación aparente de las cariósides) y aquellas blandas (imbibidas), pero deformes (muertas).

The seed lots were stored for three weeks in containers with screw caps and under laboratory conditions ( $\pm 25$  °C, RH: 50-60%), until initiating the germination tests.

The research was carried out at the Laboratory of Food Analysis, Chemical Science Faculty, Universidad de Guayaquil. Sub-samples were taken at random from each of the donated lots, and washed in a sodium hypochlorite solution (1%) for 5-10 minutes until eliminating fungi. Subsequently, seeds were washed in distilled water for 30 minutes before being transferred into Petri dishes containing 1% agar as a culture mean for providing continuous humidity for germination. In total, four replications of 50 seeds each were used per capsule and per accession or cultivar.

Petri dishes with seeds of the different materials were closed and kept in an incubator under dark conditions and at laboratory temperature (26-24 °C day/night). Each capsule was observed daily using a stereoscopic binocular loupe, and germinated seeds were removed (whose radicle emerged without any apparent deformation from the caryopsides), as well as those soft seeds (imbibed) but deform (dead). Observations were extended for 25 days, when empty seeds were finally counted in each case.

Accumulated daily germination (G), pure seed (1 – fraction of empty caryopsides) and the final proportion of dead seeds (imbibed but without germination at the end of the experiment) were calculated based on the initial seed total. Data on



Las observaciones se extendieron por un lapso de 25 días, cuando se contaron finalmente las semillas vanas (cariópsides vacías) en cada caso.

La germinación diaria acumulada (G), la pureza (1 – fracción de cariópsides vacías), y la proporción final de semillas muertas (imbibidas, pero sin germinar al final del experimento), se calcularon con base al total inicial de semillas. Los datos de porcentaje de pureza y semillas muertas se reportaron con base a estadística descriptiva (media y desviación estándar). Los índices G, VG y TAG, fueron estimados para cada repetición y cultivar con base a la germinación diaria acumulada, usando el paquete R (R Development Core Team, 2015). En particular, los datos obtenidos de G para el final del experimento, fueron transformados al arcoseno  $\sqrt{\%/100}$  (Zar, 1984). Los valores transformados de G, así como los índices VG y TAG, fueron sometidos a un ANOVA de una vía, y a una prueba de comparación múltiple (Tukey al 5%, R Development Core Team, 2015).

A su vez, los datos diarios observados del número acumulado de semillas germinadas en los distintos cultivares y repeticiones, fueron ajustados con las siguientes funciones no lineales (Brown y Meyer, 1988b; Szabelska *et al.*, 2010):

Función de crecimiento de Gompertz modificada con cuatro parámetros para el número total de semillas germinadas en el tiempo t:

pure and dead seeds were reported with descriptive statistics (mean and standard deviation). Indices G, GV and SG were estimated for each replication and cultivar from the daily accumulated germination, by using the R software (R Development Core Team, 2015). Particularly, the data obtained for G at the end of the experiment was transformed in to the arcsine  $\sqrt{\%/100}$  (Zar, 1984). The transformed values of G as well as GV and SG, were analyzed by a one-way ANOVA test and a multiple comparison test (Tukey to the 5%, R Development Core Team, 2015).

At the same time, the daily observed data of the accumulated number of germinated seeds in the different cultivars and replications were adjusted to the following nonlinear functions (Brown and Meyer, 1988b; Szabelska *et al.*, 2010):

Gompertz grow function modified with four parameters for the total of germinated seeds in the time t:

$$G(t) = c + (d - c)[\exp(-\exp(b(t - e)))] \quad (1)$$

Where d is the accumulated germination at the end of the experiment, e is the parameter that defines the shape of the curve, c is the initial value (intercept) or lower limit of the curve, b is the parameter of temporal scale, and

Weibull growth function (Type 2 with four parameters):

$$G(t) = c + (d - c)(1 - \exp[-\exp(b(\log(t) - \log(e)))] \quad (2)$$

Where b, c, d and e are defined in equation 1. Both non-linear regression



$$G(t) = c + (d - c)[\exp(-\exp(b(t - e)))] \quad (1)$$

Donde  $d$  es la germinación acumulada al final del experimento,  $e$  es el parámetro que define la forma de la curva,  $c$  es el valor inicial (intercepto) o límite inferior de la curva,  $b$  es el parámetro de escala temporal, y

Función de crecimiento de Weibull (Tipo 2 con cuatro parámetros):

$$G(t) = c + (d - c)(1 - \exp[-\exp(b(\log(t) - \log(e)))] \quad (2)$$

Donde  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , y  $e$  están definidos en la ecuación (1). Ambos modelos de regresión no-lineal fueron ajustados con la librería “drc”, la cual está disponible dentro del ambiente R (Ritz y Streibig, 2005).

## Resultados y discusión

### Calidad de la semilla e índices de germinación

El cuadro 1 señala el porcentaje promedio de semillas muertas, así como el nivel de pureza en cada accesión o cultivar.

Los resultados mostraron en general un porcentaje alto de pureza (>90%) en todos los cultivares examinados, mientras que la cantidad de semilla muerta varió entre 1,5% (cv. Paiguás) y un máximo de 12% (cv. Xaraés), estando en casi todos los casos por debajo del 5%. Esto reveló una relativa alta calidad inicial de la semilla en los lotes que fueron suministrados por las empresas comercializadoras, y fueron comparables a los valores que se han reportado para estos y otros cultivares de los géneros estudiados (Sánchez *et*

models were adjusted with the “drc” library, available in the environment R (Ritz and Streibig, 2005).

## Results and discussion

### Seed quality and indices of germination

Table 1 shows the mean percentage of both dead and pure seed in each accession or cultivar.

The results showed a high fraction of pure seed (>90%) in all the cultivars examined, while the quantity of dead seeds varied from 1.5% (cv. Paiguás) to a maximum of 12% (cv. Xaraés), being in almost all cases under 5%. This revealed a relative high initial quality of the seed in the lots supplied by the sale companies, and were comparable to the values reported for these and other cultivars of the genera included in this study (Sánchez *et al.*, 1996, Flores *et al.*, 1998, Martínez *et al.*, 2013).

In table 2 the germinability index is presented ( $G$ , total germination reached within 25 days) for each of the cultivars studied.

The multiple comparison test resulted into a germinability of all cultivars significantly higher ( $P \leq 0.05$ ) than the hybrid Mulatto II and *B. humudicola*, and showed the formation of three groups (table 2 and figure 1). The first one was composed by cultivars Mombaza, Tanzania, Basilisk and Paiguás with a relatively high germination percentage (58-69%), followed by cultivars Xaraés and Marandú (23-36%), and finally by the group formed by *B. humudicola* and the hybrid Mulatto II, with the lowest

**Cuadro 1. Porcentaje de semilla vana, muerta y pureza en los ocho cultivares estudiados.****Table 1. Percentage of empty, dead and pure seed in the eight studied cultivars.**

Espece/Cultivar	Semilla vana	Semilla muerta	Pureza
<i>Brachiaria humidicola</i> cv. Tully	9,5 (3,4)	6,0 (1,6)	90,5 (3,4)
<i>Brachiaria</i> híbrido Mulato II	1,5 (1,9)	3,5 (1,9)	98,5 (1,9)
<i>B. brizantha</i> cv. Marandú	5,5 (5,0)	4,5 (4,1)	94,5 (5,0)
<i>B. brizantha</i> cv. Xaraés	5,0 (2,6)	12,0 (4,3)	95,0 (2,6)
<i>B. brizantha</i> cv. Paiaguás	5,0 (2,6)	1,5 (1,9)	98,5 (1,9)
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	3,0 (2,6)	2,0 (0,0)	97,0 (2,6)
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaza	7,5 (3,4)	4,5 (3,0)	92,5 (3,4)
<i>P. maximum</i> cv. Tanzania	4,5 (1,0)	4,5 (2,3)	95,5 (1,9)

Se muestra el promedio (n= 4) y en paréntesis, la desviación estándar correspondiente. Valores obtenidos con base al total de semilla inicial (n= 50).

*al.*, 1996, Flores *et al.*, 1998, Martínez *et al.*, 2013).

En el cuadro 2 se muestra el índice de germinabilidad (G, germinación total alcanzada al cabo de 25 días), para cada uno de los cultivares estudiados.

La prueba de comparación múltiple arrojó una germinabilidad de todas los cultivares significativamente mayor ( $P \leq 0,05$ ) que el híbrido Mulato II y *B. humidicola*, y mostró la formación de tres grupos (cuadro 2 y figura 1). El primero conformado por los cultivares Mombaza, Tanzania, Basilisk y Paiaguás con un relativo alto porcentaje de germinación (58-69%); a continuación, los cultivares Xaraés y Marandú (23-36%), y, por último, el grupo integrado por *B. humidicola* y el híbrido Mulato II, con los porcentajes de germinación más bajos (7-8%).

germination percentages (7-8%).

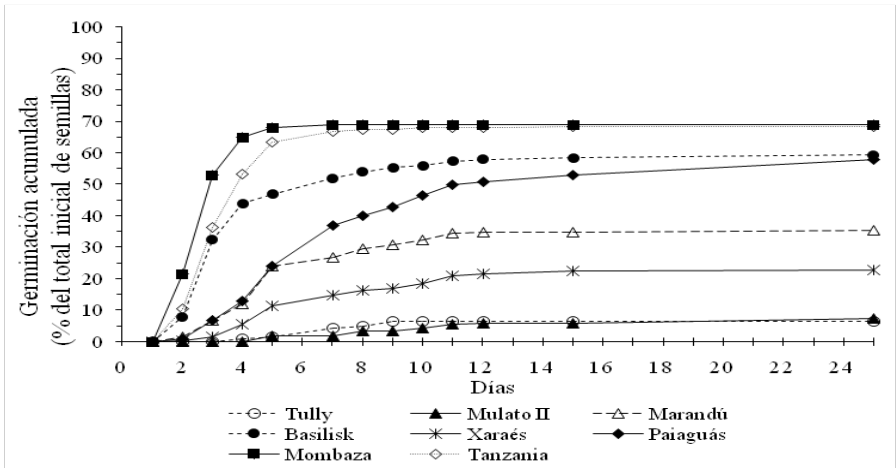
These final values of germination showed a possible interaction between the genotype, harvest management and the storing conditions on the viability of the embryo and the level of dormancy present when carrying out the germination tests (Hopkinson *et al.*, 1998). As a consequence, it was difficult to compare the results obtained in this study with those reported in the literature. However, it is interesting to highlight the relative high germination level reached by the two cultivars of *P. maximum*, which values were close to the ones reported in other investigations (Tomaz *et al.*, 2010), but in contrast with only 20% in cv. Tobiata (Usberti and Martins, 2007); the last may be attributed to differences in intraspecific dormancy levels (Smith, 1979). On the other

**Cuadro 2. Germinación total promedio (n= 4) alcanzada en los ocho cultivares estudiados, al cabo de 25 días.**

**Table 2. Mean total germination (n= 4) reached by the eight cultivars after 25 days.**

Especie/Cultivar	Germinación total (%)
<i>Brachiaria humidicola</i> cv. Tully	6,5 <sup>c</sup>
<i>Brachiaria</i> híbrido Mulato II	7,5 <sup>c</sup>
<i>B. brizantha</i> cv. Marandú	35,5 <sup>b</sup>
<i>B. brizantha</i> cv. Xaraés	23,0 <sup>b</sup>
<i>B. brizantha</i> cv. Paiaguás	58,0 <sup>a</sup>
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk	59,5 <sup>a</sup>
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaza	69,0 <sup>a</sup>
<i>P. maximum</i> cv. Tanzania	68,5 <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna, implican diferencias significativas (P≤0,05) entre cultivares. Valores obtenidos con base al total de semilla inicial (n= 50).



**Figura 1. Variación en el porcentaje diario acumulado de semillas germinadas (valores observados) en los ocho cultivares estudiados, al cabo de 25 días. Valores obtenidos con base al total de semilla inicial (n= 50).**

**Figure 1. Variation of the daily accumulated percentage of germinated seeds (observed values) in the eight studied cultivars after 25 days. Obtained values based on the total of initial seeds (n= 50).**

Estos valores finales de germinación reflejaron probablemente la interacción entre el genotipo, el manejo de la cosecha y las condiciones de almacenamiento, sobre la viabilidad del embrión y el grado de latencia presente para el momento de efectuarse las pruebas de germinación (Hopkinson *et al.*, 1998). Como consecuencia, resultó difícil comparar los resultados obtenidos en este estudio, con otros reportados en la literatura. Sin embargo, fue interesante destacar el relativo alto nivel de germinación alcanzado por los dos cultivares de *P. maximum*, cuyos valores fueron cercanos a los reportados en otros estudios (Tomaz *et al.*, 2010), pero contrastaron con solo 20% en el cv. Tobiata (Usberti y Martins, 2007), lo que pudiera también atribuirse a diferencias en el nivel de latencia intraespecífica (Smith, 1979). Por su parte, la semilla de *B. brizantha* cv. Marandú, *B. humidicola* y el híbrido Mulato II, presentó una fuerte latencia debida principalmente a la impermeabilidad al agua y aire que conforman los distintos componentes de la cubierta seminal, los mismos que podrían estar asociados también a inhibidores metabólicos del embrión (Atalla y Tosello, 1979; Sánchez *et al.*, 1996; Oliveira y Mastrocola, 1984; Fuchs, 1989; Lago y Martins, 1998; Vieira *et al.*, 1998; Martins y Silva, 2001; Filho y Usberti, 2008; Gaspar-Oliveira *et al.*, 2008; Sallum *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2013).

La figura 1 muestra igualmente, patrones de germinación bastante contrastantes entre los cultivares estudiados. Los cultivares Mombaza

hand, the seed of *B. brizantha* cv. Marandú, *B. humidicola* and the hybrid Mulatto II, presented strong dormancy mainly due to the water and air impermeability that form the different components of the seed coat, the ones that could be also related to metabolic inhibitors of the embryo (Atalla and Tosello, 1979; Oliveira and Mastrocola, 1984; Fuchs, 1989; Sánchez *et al.*, 1996; Lago and Martins, 1998; Vieira *et al.*, 1998; Martins and Silva, 2001; Filho and Usberti, 2008; Gaspar-Oliveira *et al.*, 2008; Sallum *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2013).

Figure 1 also shows contrasting germination patterns among the studied cultivars. Mombaza and Tanzania presented a fast germination, reaching the highest values of accumulated germination after 4 days. On the contrary, *B. humidicola* and cv. Mulato II, as well as the rest of the studied cultivars, showed a slower germination, reaching their final values after 10 days. Given the low germination percentage obtained in *B. humidicola* and the hybrid Mulato II, in which there was not germination in some replications, these materials were excluded from the characterization performed on the germination pattern throughout time.

Figure 2 shows the box diagrams obtained for the germination value (GV) in the different cultivars.

Since it is a compound index (derived from the average daily germination and the maximum value of daily germination percentage), it was useful for comparing materials that even with similar G values, reached the highest germination in different

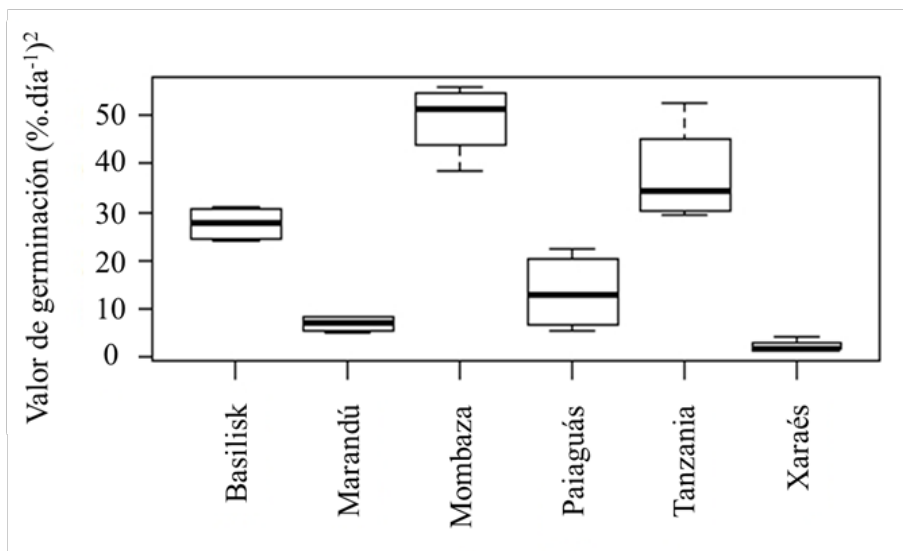
y Tanzania presentaron una germinación rápida, alcanzando los valores máximos de germinación acumulada después de tan solo 4 días. Por el contrario, *B. humidicola* y el cv. Mulato II, así como el resto de los cultivares estudiados, mostraron una germinación mucho más lenta, alcanzando sus valores finales después de 10 días. Dado el porcentaje tan bajo de germinación obtenido en *B. humidicola* y el híbrido Mulato II, en donde incluso no hubo germinación en algunas repeticiones, estos materiales se excluyeron de la caracterización hecha del patrón de germinación a lo largo del tiempo.

La figura 2 muestra los diagramas de caja obtenidos para el valor de germinación (VG) en los distintos cultivares.

Debido a que este es un índice compuesto (derivado del producto de la germinación diaria promedio y el valor máximo del porcentaje de germinación diaria), resultó muy útil para comparar materiales que, aun teniendo valores similares de G, alcanzaron el máximo de germinación en tiempos distintos debido a diferencias intrínsecas en la velocidad de germinación. En este sentido, los cvs. Mombaza y Tanzania mostraron unos VG muy elevados (38-49) y superiores ( $P \leq 0,05$ ) a Marandú, Xaraés y Paiaguás (2-14). En el caso del cv. Basilisk, su VG (28) fue significativamente inferior ( $P \leq 0,05$ ) a Mombaza, aunque similar a Tanzania. Finalmente, los valores relativamente mayores de este índice en los cultivares de *P. maximum* en comparación con Basilisk y Paiaguás, contrastaron con los valores tan cercanos de G obtenidos

times due to intrinsic differences in the germination speed. In this sense, cvs. Mombaza and Tanzania presented very high GV (38-49) and superior ( $P \leq 0.05$ ) to Marandú, Xaraés and Paiaguás (2-14). In the case of cv. Basilisk, its GV (28) was significantly lower ( $P \leq 0.05$ ) than Mombaza, but similar to Tanzania. Finally, the relatively higher values of this index in the two cultivars of *P. maximum* compared to Basilisk and Paiaguás, contrasted to the very close values of G obtained in these four cultivars (table 2). These marked differences in the germination pattern may be explained by the high accumulated speeds of germination (SG) of Mombaza and Tanzania (95-111) compared to cvs. Paiaguás, Marandú and Xaraés (19-45) ( $P \leq 0,05$ ), with cv. Basilisk having an intermediate SG (78) (figure 3).

Likewise, it is important to mention the particular case of cvs. Basilisk and Paiaguás. They reached the same final germination (table 2 and figure 1), but when comparing the germination indices, cv. Basilisk had a GV ( $P \leq 0.06$ ) and a SG ( $P \leq 0.05$ ) higher than cv. Paiaguás. In the first one, there was an initial fast germination from days 1 to 4; afterwards, maintaining a relatively slow germination rate until the end of the experiment (figure 1). On the contrary, cv. Paiaguás reached the same G value but through an initial sustained increment (but slower) in the accumulated fraction of germinated seeds (figure 1), this being related to a lower SG (figure 3). These differences were corroborated when observing the maximum values in the germination rate of both cultivars



**Figura 2.** Diagramas de caja obtenidos para el valor de germinación (VG,  $(\% \cdot \text{día}^{-1})^2$ ), en seis cultivares de gramíneas forrajeras.

**Figure 2.** Box diagrams for the germination value (GV,  $(\% \cdot \text{day}^{-1})^2$ ), in six cultivars of forage grasses.

en estos cuatro cultivares (cuadro 2). Estas diferencias tan marcadas en el patrón de germinación, podrían ser explicadas por las velocidades acumuladas de germinación (TAG) tan elevadas ( $P \leq 0,05$ ) de Mombaza y Tanzania (95-111), en comparación con los cvs. Paiaguás, Marandú y Xaraés (19-45); teniendo el cv. Basilisk una TAG intermedia (78) (figura 3).

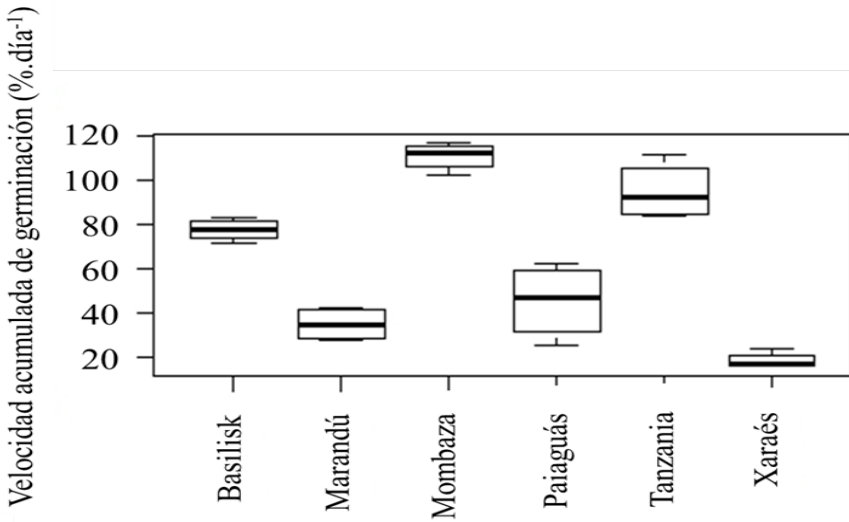
Igualmente, cabe destacar el caso particular de los cvs. Basilisk y Paiaguás. Ambos alcanzaron la misma germinación final (cuadro 2 y figura 1), pero al comparar los índices de germinación, el cv. Basilisk tuvo un VG ( $P \leq 0,06$ ) y una TAG ( $P \leq 0,05$ ) mayor que el cv. Paiaguás. En el primero, hubo una germinación inicial rápida entre los días 1 y 4, para luego mantener una tasa de germinación

(11.6 in Basilisk vs. 5.4 in Paiaguás, unpublished data), which were significantly different ( $P \leq 0.05$ ).

#### Adjustment, analysis and interpretation of the germination curves

The models Gompertz and Weibull described in equations (1) and (2) respectively, were adjusted for the six cultivars and each of their replications, for a total of  $26 \times 2$  adjusted models. The Akaike information criterion (AIC) (Akaike, 1974) was used to compare both models. The model with the lowest AIC value was considered the best model. In 18 out of 26 data sets, the Gompertz model was favored; thus, this model was used to describe the experimental data and to analyze the germination process of the selected cultivars.





**Figura 3. Diagramas de caja obtenidos para la velocidad acumulada de germinación (TAG, %·día<sup>-1</sup>), en seis cultivares de gramíneas forrajeras.**

**Figure 3. Box diagrams for the cumulative speed of germination (SG, %·day<sup>-1</sup>), in six cultivars of forage grasses.**

relativamente lenta hasta el final del experimento (figura 1). En contraste, el cv. Paiaguás alcanzó el mismo valor de G, pero a través de un incremento inicial sostenido (aunque más lento), en la fracción acumulada de semillas germinadas (figura 1); esto asociado por lo demás a una TAG más baja (figura 3). Tales diferencias fueron corroboradas al observar los valores máximos en la tasa de germinación de ambos cultivares (11,6 en Basilisk vs. 5,4 en Paiaguás, datos no publicados), los cuales fueron significativamente distintos ( $P \leq 0,05$ ).

**Ajuste, análisis e interpretación de las curvas de germinación**

Los modelos Gompertz y Weibull descritos en las ecuaciones (1) y (2)

The results of the adjustment of the Gompertz model for six cultivars of forage grasses and their corresponding replicates, are shown in figure 4. Table 3 presents the summary of the average values and the variation intervals for each of the parameters of the Gompertz model.

Parameters c (lower limit of the curve with interception on the Y axis) and d (upper limit of the curve: value of the Y axis where the curve becomes asymptotic) varied considerably among cultivars, and for some of them among replications as well (table 3). This was the particular case of cultivars Paiaguás, Tanzania and Mombaza (see minimum and

respectivamente, fueron ajustados en los seis cultivares y cada una de sus réplicas, para un total de 26 x 2 modelos ajustados. El criterio de Información de Akaike (AIC) (Akaike, 1974) fue utilizado para comparar ambos modelos. El modelo con el menor valor de AIC fue considerado entonces como el mejor modelo. En 18 de los 26 conjuntos de datos, el modelo Gompertz resultó favorecido, por lo que en lo adelante, el mismo se utilizó para describir los resultados obtenidos y analizar el proceso de germinación de los cultivares seleccionados en este estudio.

En la figura 4 se presentan los resultados del ajuste del modelo Gompertz para los seis cultivares y sus respectivas réplicas (repeticiones). En el cuadro 3 se muestra un resumen de los valores medios y rangos de variación para cada uno de los parámetros del modelo Gompertz.

Los parámetros  $c$  (límite inferior de la curva, con intercepto en el eje Y) y  $d$  (límite superior de la curva: valor del eje Y donde la curva se hace asintótica) variaron considerablemente entre cultivares y para algunos de ellos, entre repeticiones (cuadro 3). Esto último fue el caso particular de los cultivares Paiaguás, Tanzania y Mombaza (ver valores mínimos y máximos de  $c$ ), lo cual podría asociarse a la presencia de poblaciones contrastantes dentro de los lotes originales de semilla. Esto debido, entre otras razones, a diferencias marcadas en el tiempo de maduración en el campo (Van Der Burg, 2009; Zecchinelli, 2009) o a la mezcla durante el almacenamiento, de lotes de semillas de distinta

maximum values of  $c$ ), which may be related to the presence of contrasting seed populations presented in the original seed lots. This may be due to marked differences in the maturation time in the field (Van Der Burg, 2009; Zecchinelli, 2009) or to the mixing during the storing of lots of seeds from different origin. As expected from the good fitting of the curves, the variations of  $d$  among cultivars were equal (table 3) to the ones found when using the G index (germinability or accumulated final germination, table 2). Parameter  $b$  (parameter of temporal scale) was always negative for all the adjustments (table 3), which is considered a usual characteristic of the growth curves. This parameter is the relative slope around parameter  $e$ , which corresponds to the inflection point of the curve of the X axis (time). Maximum absolute values of  $b$  were related to the cultivars of *P. maximum*, followed by the cultivar Basilisk; these cultivars presented the highest accumulated germination speed (SG, figure 3). For Mombaza, Tanzania and Basilisk, germination curves reached an earlier initial inflection (value of  $e$ ) (2.0-2.6 days) compared to cultivars Marandú, Paiaguás and Xaraés, in which the inflection occurred in the rank 3.8-4.9 days (table 3). Consequently, cultivars Mombaza and Tanzania, followed by Basilisk, were characterized by having early germination and high germination velocity; thus, reaching a relatively high accumulated final germination value. Similar results in relation to the initial pattern of germination in the treated seed of *B.*

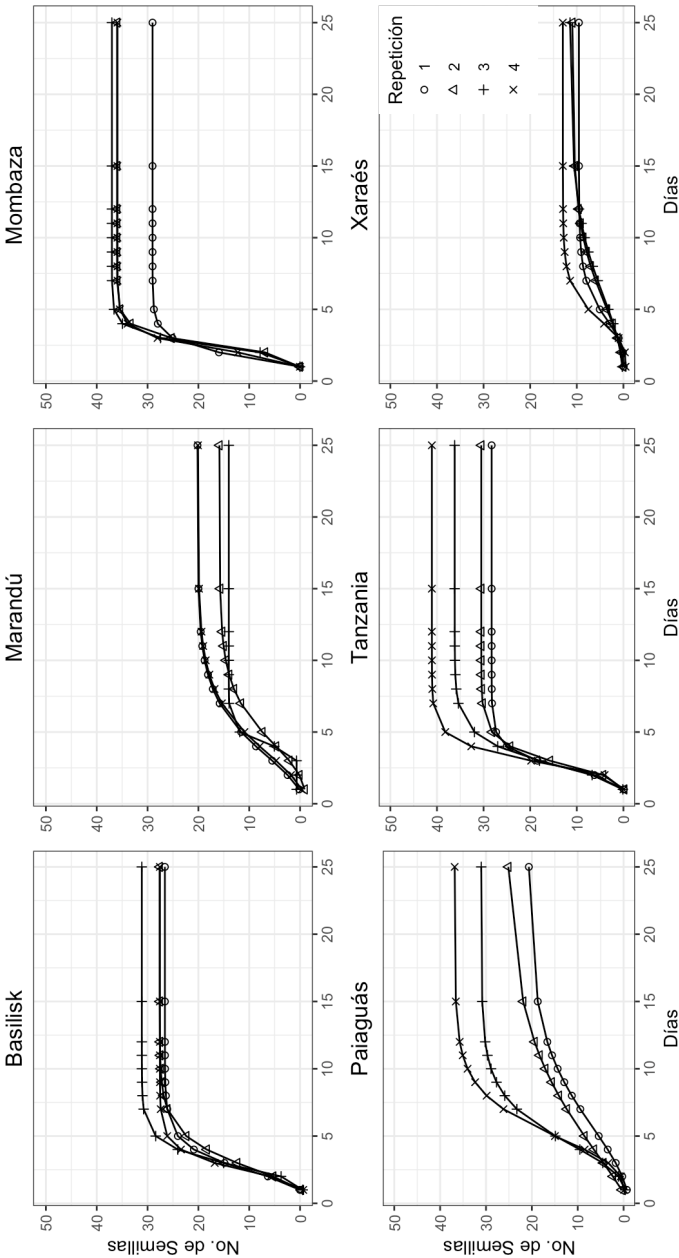


Figura 4. Modelo Gompertz de 4 parámetros (ecuación 1) ajustados a los datos observados del número diario acumulado de semillas germinadas en seis cultivares de gramíneas forrajeras. Los símbolos corresponden a los valores observados en cada repetición (1-4), y las líneas representan los valores de las curvas ajustadas.

Figure 4. Gompertz model of four parameters (equation 1) adjusted to the observed data on accumulated daily number of germinated seeds in six cultivars of forage grasses. Symbols correspond to the observed values for each repetition (1-4); lines represent the values of the adjusted curves.

**Cuadro 3. Valores promedios (n= 4) de los cuatro parámetros (b, c, d, e) definidos por el modelo de crecimiento Gompertz (ecuación 1).**  
**Table 3. Mean values (n= 4) of the four parameters (b, c, d, e) defined by the Gompertz growth model (equation 1).**

Especie/Cultivar	$\bar{b}$ (Rango)	$\bar{c}$ (Rango)	$\bar{d}$ (Rango)	$\bar{e}$ (Rango)
<i>Brachyaria</i>	-0,770	-0,975	17,542	3,739
<i>brizantha</i> /Marandú	(-1,836; -0,403)	(-1,780; -0,673)	(14,022; 20,184)	(3,301; 4,120)
<i>B. decumbens</i> /Basilisk	-0,916	-1,284	28,234	2,445
	(-1,107; -0,655)	(-2,296; -0,637)	(26,593; 31,133)	(2,306; 2,664)
<i>B. brizantha</i> /Xaraés	-0,480	-0,199	11,265	4,875
	(-0,719; -0,272)	(-0,470; -0,017)	(9,551; 12,997)	(4,095; 5,873)
<i>B. brizantha</i> /Paiaguás	-0,343	-2,202	28,642	4,544
	(-0,485; -0,178)	(-6,123; -0,194)	(20,852; 36,836)	(3,594; 5,549)
<i>Panicum</i>	-1,508	-1,253	34,493	2,030
<i>maximum</i> /Mombaza	(-1,644; -1,384)	(-4,702; -0,043)	(29,024; 37,016)	(1,487; 2,327)
<i>P. maximum</i> /Tanzania	-1,083	-0,316	34,016	2,547
	(-1,256; -0,858)	(-0,717; -0,030)	(28,274; 41,092)	(2,317; 2,727)

Se incluye el rango (valor mínimo, valor máximo) para cada uno de los parámetros estimados.

procedencia. Como era de esperarse por el buen ajuste de curvas, las variaciones de  $d$  entre cultivares fueron equivalentes (cuadro 3) a las encontradas cuando se usó el índice  $G$  (germinabilidad o germinación final acumulada, cuadro 2).

El parámetro  $b$  (parámetro de escala temporal), fue siempre negativo para todos los ajustes (cuadro 3), lo cual es considerado una característica usual de las curvas de crecimiento. Este parámetro es la pendiente relativa alrededor del parámetro  $e$ , que corresponde al punto de inflexión de la curva sobre el eje  $X$  (tiempo). Los valores absolutos máximos de  $b$  estuvieron asociados a los dos cultivares de *P. maximum*, seguidos por el cultivar Basilisk; cultivares estos que por lo demás presentaron

*decumbens*, were found by Tomaz *et al.* (2015). In the cultivar Paiaguás, the relatively late start of the germination event was compensated by a sustained increment of germination for more than 10 days after the beginning of the experiment, reaching final values comparable to the previous cultivars.

An opposite behavior was found in the cultivars Xaraés and Marandú, with almost twice the delay to initiate germination, a relatively lower germination rate and a final accumulated germination value well below that reached by the first group of cultivars. Probably, this last germination pattern is similar to cultivars Mulato II Tully and the cv. Llanero (known as *B. dictyoneura*) (Flores *et al.*, 1998). In this sense, Tomaz *et al.* (2016) observed in the

las mayores velocidades acumuladas de germinación (TAG, figura 3). Para Mombaza, Tanzania y Basilisk, las curvas de germinación alcanzaron un punto de inflexión inicial (ie, valor de  $e$ ) más temprano (2,0-2,6 días) en comparación con los cultivares Marandú, Paiaguás y Xaraés, en cuyos casos el punto de inflexión ocurrió dentro del rango 3,8-4,9 días (cuadro 3). Por consiguiente, los cultivares Mombaza y Tanzania, seguidos por Basilisk, se caracterizaron por tener un inicio de germinación muy temprano y una velocidad de germinación elevada, por lo que alcanzaron un valor final de germinación acumulada comparativamente más alto. Resultados similares en relación al patrón inicial de germinación en la semilla tratada de *B. decumbens*, fueron obtenidos por Tomaz *et al.* (2015). En el cultivar Paiaguás, el inicio relativamente tardío en la germinación, fue compensado por un incremento sostenido en la misma por más de 10 días después del inicio del experimento, llegando a valores finales comparables a los cultivares anteriores. En el otro extremo, se encontraron los cultivares Xaraés y Marandú, con casi el doble de retraso en el inicio de la germinación, una tasa comparativamente más lenta de germinación, y un valor final acumulado muy por debajo de los primeros. Probablemente, este último patrón de germinación sea similar al de los cultivares Mulato II, Tully y el cv. Llanero (originalmente conocido como *B. dictyonera*) (Flores *et al.*, 1998). En este sentido, cabe destacar que Tomaz *et al.* (2016) observaron en la semilla tratada de *B. humidicola*,

treated seed of *B. humidicola*, a period of time of approximately 10 days to reach stabilization in the germination. Other logistic regression models (Carvalho, 1996; Portz *et al.* 2000; Sallum Neto *et al.*, 2013), have also been useful for a variety of purposes, such as the study of different chemical treatments and their effects on germinability increment and reduction of the germination time in the seed of tropical grasses (Tomaz *et al.*, 2010; Tomaz *et al.*, 2015; Tomaz *et al.*, 2016).

## Conclusions

The Gompertz growth model simulated with high accuracy the germination data in a wide variety of forage grasses. Consequently, the parameters incorporated in the logistic function allowed distinguishing the contrasting germination patterns among and within cultivars. Likewise, other germination indices such as G, GV and SG constitute an easy implementation tool to analyze additional information coming from conventional data of daily germination.

Cultivars of *P. maximum* (Mombaza and Tanzania), followed by *B. decumbens* cv. Basilisk, presented the best germination patterns; thus, these cultivars may be used in the fast establishment of pastures in locations with high incidence of weeds, as long as there is enough soil humidity for the seedlings. The other cultivars, with slower germination speeds, may be selected for soils with less problems of weed. Their extended germination

un lapso de alrededor de 10 días para alcanzar la estabilización en la germinación. Otros modelos de regresión de tipo logístico (Carvalho, 1996; Portz *et al.*, 2000; Sallum Neto *et al.*, 2013), han sido también útiles para una variedad de propósitos, como el estudio de diferentes tratamientos químicos y sus efectos en el incremento de la germinabilidad y disminución del tiempo de germinación en semillas de gramíneas tropicales (Tomaz *et al.*, 2010; Tomaz *et al.*, 2015; Tomaz *et al.*, 2016).

## Conclusiones

El modelo de crecimiento Gompertz simuló con una alta confiabilidad, los datos observados de germinación en una amplia variedad de gramíneas forrajeras. Por consiguiente, los parámetros incorporados dentro de la función logística permitieron distinguir patrones de germinación contrastantes entre y dentro de cultivares. Igualmente, otros índices de germinación como G, VG, y TAG, constituyen una herramienta de fácil implementación para analizar información adicional proveniente de los datos convencionales de germinación diaria.

Los cultivares de *P. maximum* (Mombaza y Tanzania), seguidos por *B. decumbens* cv. Basilisk, presentaron los mejores patrones de germinación, por lo que pudieran utilizarse en el establecimiento rápido de pasturas en localidades con alta incidencia de malezas, siempre y cuando se garantice inicialmente un nivel suficiente de humedad del suelo para

in time would guarantee a higher probability of success in rainfed conditions. However, it is necessary in these cultivars to break the seed dormancy in different ways, in order to increase the seedling population during establishment.

*End of English version*

---

las plántulas. Los otros cultivares, con una velocidad de germinación más lenta, podrían incorporarse en suelos con menores problemas de malezas. Su germinación más extendida en el tiempo garantizaría igualmente una mayor probabilidad de éxito en condiciones de secano. Sin embargo, se hace necesario en estos últimos cultivares romper la latencia de la semilla por diversos medios, y así incrementar la población de plántulas durante el establecimiento.

## Agradecimientos

Este trabajo se llevó a cabo durante la estadía del primer autor (Febrero - Diciembre 2015) en la Universidad de Guayaquil (UG), como becario del Programa Prometeo de la Senescyt (Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología), Ecuador. Los autores desean también expresar su agradecimiento al personal docente del Laboratorio de Análisis de Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas de la UG, por su apoyo logístico durante la realización de las pruebas de germinación.



## Literatura citada

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. IEEE Trans. Autom. Control 19:716-723.
- Andrade, R.P. de y J.E. Ferguson. 1991. La calidad de la semilla en el establecimiento de una pastura. p. 19-52. *En*: Lascano C.E. y J.M. Spain (Eds.). Establecimiento y renovación de pasturas. Conceptos, experiencias y enfoques de la investigación. CIAT. Cali, Colombia.
- Araújo, S.A.C., B.B. Deminici e P.R.S.S. Campos. 2008. Melhoramiento genético de plantas forrageiras tropicais no Brasil. Arch. Zootec. 57(R):61-76.
- Argel, P.J. y G. Keller-Grein. 1998. Experiencia regional con *Brachiaria*: Región de América Tropical-Tierras Bajas Húmedas. p. 226-246. *En*: Miles, J.W., B.L. Maass y C.B. do Valle (Eds.). *Brachiaria*: Biología, Agronomía y Mejoramiento. CIAT. Cali, Colombia.
- Atalla, L.M.P. e J. Tosello. 1979. Observações sobre a dormência em 2 espécies de *Brachiaria*: *B. decumbens* e *B. humidicola* em condições de laboratório. Científica 7:353-355.
- Baskin, C.C., and J.M. Baskin. 2014. Seeds; ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Second Edition. Academic Press. San Diego, CA. USA. 1600 p.
- Brown, R.F. and D.G. Mayer. 1988a. Representing cumulative germination. 1. A critical analysis of single-value germination indices. Ann. Bot. 61:117-125.
- Brown, R.F. and D.G. Mayer. 1988b. Representing cumulative germination. 1. The use of Weibull and other empirically derived curves. Ann. Bot. 61: 127-138.
- Carvalho, L.R. 1996. Métodos para comparação de curvas de crecimiento. Tese Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 172 p.
- Cook, S., R.L. Clem, N.D. MacLeod and P.A. Walsh. 1993. Tropical pasture establishment. 7. Sowing methods for pasture establishment in northern Australia. Trop. Grasslands 27: 335-343.
- Filho, F.N.C. and R. Usberti. 2008. Thermal and moisture content effects on storability and seed dormancy releasing on *Brachiaria brizantha* cultivars. Rev. Bras. Sementes 30(3):95-103.
- Flores, Z., J. Montes y M. Manzano. 1998. Efecto de almacenamiento y tratamiento con ácido sulfúrico en semillas de *Brachiaria dictyoneura*. Zootecnia Trop. 16(2):277-286.
- Fuchs, M. 1989. Condiciones de almacenamiento, germinación y latencia de semillas de *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria humidicola*. Tesis de Maestría. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela. 126 p.
- Gaspar-Oliveira, C.M., C.C. Martins, J. Nakagawa e C. Cavariani. 2008. Duração do teste de germinação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (Hochst. ex A. Rich.) Stapf. Rev. Bras. Sementes 30(3):30-38.
- Hopkinson, J.M., F.H.D. de Sousa, S. Diulgheroff, A. Ortiz y M. Sánchez. 1998. Fisiología reproductiva, producción de semilla y calidad de la semilla en el género *Brachiaria*. p. 136-155. *En*: Miles, J.W., B.L. Maass y C.B. do Valle (Eds.). *Brachiaria*: Biología, Agronomía y Mejoramiento. CIAT. Cali, Colombia.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2005. International rules for seed testing. 2005 edition. ISTA, Bassersdorf, Switzerland.
- Koonneef, M., L. Bentsink and H. Hilhorst. 2002. Seed dormancy and germination. Plant Biol. 5:33-36.
- Lago, A.A. Do e L. Martins. 1998. Qualidade fisiológica de sementes de *Brachiaria brizantha*. Pesqui. Agropec. Bras. 33(2):199-204.
- Lambers, H., F.S. Chapin III, and T.L. Pons. 2008. Plant physiological ecology. Second edition. Springer, New York, USA. 604 p.
- Martínez, S.J., Y.V. Aparicio, J.R. Enríquez del-Valle, J.C. Carrillo R. y M.A. Vásquez D. 2013. Estrategias de

- escarificación para eliminar la latencia en semillas de *Cenchrus ciliaris* L. y *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 6:1263-1272.
- Martins, C.C. e W.R. Silva. 1998. Superação da dormência de sementes de Capim Colônia. Planta Daninha. 16(2):77-84.
- McNair, J., A. Sunkara and D. Forbush. 2013. How to analyse seed germination data using statistical time to-event analysis: non-parametric and semi-parametric methods. *Peer-reviewed scientific publications*. Paper 4. <http://scholarworks.gvsu.edu/peerscipub/4>. Fecha de consulta: febrero de 2016.
- Oliveira, P.R.P., e M.A. Mastrocola. 1984. Longevidade das sementes de gramíneas forrageiras tropicais. Bol. Ind. Anim. 41:203-211.
- Onofri, A., F. Gretha, and F. Tei. 2010. A new method for the analysis of germination and emergence data of weed species. Weed Res. 50:187-198.
- Peralta A. y J.M. Toledo. 1991. La problemática del establecimiento y la recuperación de las pasturas. p. 1-16. *En*: Lascano C.E. y J.M. Spain (Eds.). Establecimiento y renovación de pasturas. Conceptos, experiencias y enfoques de la investigación. CIAT. Cali, Colombia.
- Pizarro, E.A., C.B. do Valle, G. Keller-Grein, R. Schultze-Kraft y A.H. Zimmer. 1998. Experiencia regional con *Brachiaria*: Región de América Tropical-Sabanas. p. 247-269. *En*: Miles, J.W., B.L. Maass y C.B. do Valle (Eds.). *Brachiaria*: Biología, Agronomía y Mejoramiento. CIAT. Cali, Colombia.
- Portz, L., C.T.S. Dias e J.E.P. Cyrino. 2000. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. Sci. Agríc. 57(4):1-14.
- R. Development Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Ranal, M.A. and D.G. Santana. 2006. How and why to measure the germination process. Rev. Bras. Bot. 29:1-11.
- Ritz, C. and J.C. Streibig. 2005. Bioassay using R. J. of Stat. Softw. 12(5):1-22.
- Sallum Neto, F., L.R. Carvalho e M.M. Mischan. 2013. Ajustes de modelos não lineares a dados de crescimento com estrutura de erros independentes e autoregressivos de primeira ordem-aplicações. Rev. Bras. Biom. 31: 631-644.
- Sallum, M.S.S., D.S. Alves, E.A.T. Agostini e N.B. Machadoneto. 2010. Neutralização da escarificação química sobre a germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. 'Marandú'. Rev. Bras. Ciênc. Agr. 5(3):315-321.
- Sánchez, M.S.O., Y. López y J.E. Ferguson. 1996. Dinámica de la latencia en semillas de *Brachiaria dictyoneura* (Fig & Not) Stapf cv. Llanero. Acta Agron. 46(1/4):15-22.
- Silva, S.C. da. 2004. Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos géneros *Brachiaria* e *Panicum*. p. 347-386. *En*: Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem, 2., 2004. Viçosa. Anais. Viçosa: UFV, DZO.
- Skerman, P.J. y F. Riveros. 1992. Gramíneas tropicales. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal (FAO). N° 23. FAO. Roma. 866 p.
- Smith, R.L. 1979. Seed dormancy in *Panicum maximum* Jacq. Trop. Agr. 56:233-239.
- Szabelska, A., M. Siatkowski, T. Goszczurna and J. Zyprych. 2010. Comparison of growth models in package R. Nauka Przry. Technol. 4, N° 50.
- Tomaz, C.A. de, C.C. Martins, G.Z. da Silva and R.D. Vieira. 2016. Period taken by *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schewick seed to complete germination. Ciências Agrárias 37: 693-700.
- Tomaz, C.A. de, C.C. Martins, L.R. de Carvalho e J. Nakawama. 2010. Duração do teste de germinação do capim-Tanzânia. Rev. Bras. Sementes 32(4):80-87.

- Tomaz, C.A. de, C.C. Martins, M.F.G. Sanches and R.D. Vieira. 2015. Time reduction for Surinam grass seed germination test. *Ciênc. Agrotec.* 39:488-497.
- Usberti, R. and L. Martins. 2007. Sulphuric acid scarification effects on *Brachiaria brizantha*, *B. humidicola* and *Panicum maximum* seed dormancy release. *Rev. Bras. Sementes* 29(2):143-147.
- Van der Burg, J. 2009. Raising seed quality: what is in the pipeline? p. 177-186. *In: PROC. 2nd World Seed Conf. Responding to the challenges of a changing world: The role of new plant varieties and high quality seed in agriculture*, FAO Headquarters, Rome.
- Vieira, H.D., R.F. Silva e R.S. Barros. 1998. Efeito de diferentes temperaturas sobre a dormência fisiológica de sementes de braquiarião (*Brachiaria brizantha* (Hochst. ex R.Rich.) Stapf). *Rev. Bras. Sementes* 20:322-326.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*. Second Edition. Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, USA. 718 p.
- Zecchinelli, R. 2009. The influence of seed quality on crop productivity. p. 150-158. *In: PROC. 2nd World Seed Conf. Responding to the challenges of a changing world: The role of new plant varieties and high quality seed in agriculture*, FAO Headquarters, Rome.