

# Modelos matemáticos para describir la producción de semilla *Megathyrsus maximus* vc. Mombasa

*Mathematical models to describe seed production*

*Megathyrsus maximus cv. Mombasa*

Lic. Maricelis

Dra. C. Magaly Herrera Villafranca

Dr. C. Cesar Raimundo Padilla Corrales

Instituto de Ciencia Animal  
(ICA)

Autor para la correspondencia: [maricelis@ica.co.cu](mailto:maricelis@ica.co.cu), [mvillafranca@ica.co.cu](mailto:mvillafranca@ica.co.cu), [cpadilla@ica.co.cu](mailto:cpadilla@ica.co.cu)

## Resumen

A lo largo de los años los pastos han constituido el alimento fundamental y más económico en la alimentación de animales rumiantes como los bovinos, caprinos y ovinos. Estos aportan nutrientes al suelo, por lo que ayuda a su conservación evitando la erosión y restauración de su fertilidad. Dentro de los pastos el *Megathyrsus maximus* posee potenciales para este fin y su empleo en la alimentación animal constituye una alternativa viable en la disminución de alimentos concentrados de alto costo en el mercado internacional. En este sentido la investigación tuvo como objetivo contribuir al conocimiento sobre la modelación matemática para describir la producción de semilla *Megathyrsus maximus* vc. *Mombasa*. Para profundizar en el estudio se presentan algunos conceptos relacionados con la modelación matemática, los tipos de modelos existentes y la aplicación de estos modelos en los pastos de Cuba. Se plantea además los tipos de cultivares, las características agronómicas, los factores que influyen en la producción de semillas y la fertilización de este tipo de pasto. Se concluye que las especies de pastos *Megathyrsus maximus* son una de las gramíneas más distribuidas alrededor del mundo, por poseer una buena calidad, palatabilidad, digestibilidad y características nutricionales para la alimentación animal. Su producción de semilla es mayor en la época de seca y sus rendimientos aumentan en suelos húmedos con fertilidad de moderada a alta. Se identifica escasos estudios con el empleo de la modelación estadístico-matemática para describir la producción de semillas de esta gramínea.

**Palabras clave:** gramíneas, alimentación animal, tipos de cultivares

## Abstract

Over the years, grasses have been the basic and most economical food in ruminant animals feeding such as cattle, goats and sheep. These provide nutrients to the soil, which helps its conservation by preventing erosion and restoring its fertility. Among the grasses, *Megathyrsus maximus* has potential for this purpose and its use in animal feeding constitutes a viable alternative in the reduction of high-cost concentrated food in the international market. In this sense, the research aimed to contribute to the knowledge about mathematical modeling to describe the production of *Megathyrsus maximus* cv. *Mombasa*. To deepen the study, some concepts related to mathematical modeling, the types of existing models and the application of these models in Cuban grasses are showed. The types of cultivars, the agronomic characteristics, the factors that influence on seed production and the fertilization of this type of grass are also considered. It is concluded that the grass species *Megathyrsus maximus* are one of the most widely distributed grasses around the world, due to their good quality, palatability, digestibility and nutritional characteristics for animal feeding. Its seed production is greater in the dry season and its yields increase in moist soils with moderate to high fertility. Few studies are identified with the use of statistical-mathematical modeling to describe the seed production of this grass.

**Keywords:** grasses, animal feeding, types of cultivars

Recibido: 10 de julio de 2022

Aprobado: 12 de septiembre de 2022

## Introducción

Una de las herramientas más interesantes que actualmente se disponen para analizar y predecir el comportamiento de un sistema biológico son los modelos- matemáticos, pues estos son muy útiles para estimar dichos sistemas. Unos de los objetivos importantes que se pretenden con la modelación matemática es apoyar de manera más fácil la comprensión de los fenómenos reales. Según Vázquez (2012), la modelación matemática tiene carácter de método científico general, cuyas bases están en las conquistas de la matemática, la cibernética y el enfoque sistémico en la investigación científica.

Torres y Cobo (2015) consideran que un modelo matemático es la expresión formal, mediante el uso del lenguaje matemático, de las relaciones entre los componentes de un sistema e informan que estas relaciones pueden ser descritas por una

## Introduction

One of the most interesting tools currently available to analyze and predict the behavior of a biological system are mathematical models, as these are very useful for estimating such systems. One of the important goals of mathematical modeling is to more easily support the understanding of real phenomena. According to Vázquez (2012), mathematical modeling has the character of a general scientific method, whose bases are in the achievements of mathematics, cybernetics and the systemic approach in scientific research.

Torres and Cobo (2015) consider that a mathematical model is the formal expression, through the use of mathematical language, of the relationships between the components of a system and report that these relationships can be described by a simple equation or by a network

ecuación sencilla o por una red de ecuaciones interconectadas. Por otra parte, Ferrando *et al.* (2017) refieren que es la representación matemática de una realidad o fenómeno donde tienen cabida diferentes elementos que le dan forma, como pueden ser los conceptos matemáticos implicados, las representaciones simbólicas de la realidad, así como los procedimientos matemáticos asociados a su uso.

Un modelo matemático se puede utilizar cuando se quiere investigar la relación que existe entre dos variables aleatorias, que explique de manera adecuada un fenómeno bajo estudio. Sin embargo, estos se diferencian por el tipo de variables que se analizan, es por ello que resulta prudente conocer que cuando la variable respuesta y la independiente son cuantitativas se emplea un análisis de regresión (Mejías, 2018).

Según Aduriz-Bravo (2012) y Cuevas (2014), un modelo es la representación ideal de un sistema y la forma en que este opera, cuyo objetivo es analizar o predecir el comportamiento futuro. Un caso particular lo constituyen los modelos matemáticos.

La obtención de nuevos datos mediante la experimentación agronómica es un proceso costoso (Jones *et al.*, 2003), por lo que el empleo de herramientas estadísticas serían de gran utilidad para desarrollar estudios sobre esta variedad, de ahí que los modelos matemáticos y de simulación surgen como alternativa para dar respuesta a esta situación.

Castro y Hétier (2015) plantean que los modelos matemáticos que más se utilizan en la agronomía se pueden categorizar en dos clases: los modelos solamente predictivos o empíricos y los modelos causales o mecanísticos.

of equations. interconnected. On the other hand, Ferrando *et al.* (2017) refer that it is the mathematical representation of a reality or phenomenon where there is room for different elements that give it shape, such as the mathematical concepts involved, the symbolic representations of reality, as well as the mathematical procedures associated with its use.

A mathematical model can be used when you want to investigate the relationship between two random variables, which adequately explains a phenomenon under study. However, these are differentiated by the type of variables that are analyzed, which is why it is prudent to know that when the response variable and the independent variable are quantitative, a regression analysis is used (Mejías, 2018).

According to Aduriz-Bravo (2012) and Cuevas (2014), a model is the ideal representation of a system and the way it operates, whose objective is to analyze or predict future behavior. A particular case is made up of mathematical models.

Obtaining new data through agronomic experimentation is a costly process (Jones *et al.*, 2003), so the use of statistical tools would be very useful to develop studies on this variety, hence the mathematical and simulation models arise as an alternative to respond to this situation.

Castro and Hétier (2015) state that the most widely used mathematical models in agronomy can be categorized into two classes: predictive or empirical models only and causal or mechanistic models.

La representación matemática del crecimiento de los vegetales, y específicamente de los pastos, ha sido objeto de estudio por múltiples instituciones científicas en el mundo, donde las bases de los modelos varían en dependencia del propósito y las condiciones para las cuales fueron confeccionados. Sin embargo, en su conjunto persiguen como objetivo la representación matemática del crecimiento de los pastos, así como el estudio de los diversos factores que influyen en este proceso (Del Pozo y Herrera, 1995).

Muchos han sido los estudios encaminados a la obtención de pastos de calidad para la alimentación ganadera, en búsqueda de solución a la escasez de alimentos y mejorar la actividad económica del país. Dentro de las especies que se han investigado se encuentra el *Megathyrsus maximus*, conocida como pasto Guinea. Este, es originario de África, es una gramínea que se encuentra en zonas tropicales y subtropicales (Patiño, Gómez y Navarro, 2018). Por otra parte, es una planta perenne perteneciente a la familia de las gramíneas utilizada ampliamente por los ganaderos debido a su alto rendimiento de forraje de buena calidad y excelente aceptación por el ganado; además de su resistencia a la sequía y a suelos de mediana fertilidad (Joaquín *et al.*, 2010).

Dentro de los aspectos de mayor importancia en el desarrollo agropecuario de un país se encuentra la producción de semillas de especies y variedades de alta calidad para respaldar los programas de producción, los de pastos, forrajes, granos y así garantizar la alimentación de los animales y elevar los rendimientos en leche y carne (Lara, 2009). Cuba forma parte del grupo de países latinoamericanos con un desarrollo aceptable de las investigaciones en el campo de la producción de semillas y *Megathyrsus maximus* ha sido una de las especies de mayor importancia de las seleccionadas para este propósito (Febles, Ruiz y Crespo, 1993).

The mathematical representation of the growth of plants, and specifically of grasses, has been the object of study by multiple scientific institutions in the world, where the bases of the models vary depending on the purpose and the conditions for which they were made. However, as a whole, their objective is the mathematical representation of pasture growth, as well as the study of the various factors that influence this process (Del Pozo and Herrera, 1995).

There have been many studies aimed at obtaining quality pastures for livestock feed, in search of a solution to food shortages and improve the country's economic activity. Among the species that have been investigated is the *Megathyrsus maximus*, known as Guinea grass. This, is native to Africa, is a grass that is found in tropical and subtropical areas (Patiño, Gómez and Navarro, 2018). On the other hand, it is a perennial plant belonging to the grass family widely used by farmers due to its high yield of good quality forage and excellent acceptance by livestock; in addition to its resistance to drought and medium fertility soils (Joaquín *et al.*, 2010).

Among the most important aspects in the agricultural development of a country is the production of seeds of high quality species and varieties to support production programs, those of pastures, forages, grains and thus guarantee the feeding of animals and raise milk and meat yields (Lara, 2009). Cuba is part of the group of Latin American countries with an acceptable development of research in the field of seed production and *Megathyrsus maximus* has been one of the most important species selected for this purpose (Febles, Ruiz and Crespo, 1993).

The most important characteristics of the seeds are their quality and genetic potential. So much so, that the successful establishment of a pasture

Las características más importantes de las semillas son su calidad y potencial genético. Tanto es así, que el establecimiento exitoso de un pastizal y los productos animales que de él se extraigan están íntimamente unidos a estos indicadores. Además, para que una semilla sea considerada de calidad debe poseer capacidad para germinar y producir una planta normal. Las escasas siembras que se realizaron en Cuba, fueron por semillas importadas, por lo que el precio de sus ventas en el mercado internacional fue muy elevado. De ahí que cualquier intento que se haga para producirlas en el territorio nacional, constituye una opción desde el punto de vista táctico-técnico, económico y estratégico que beneficiaría a la ganadería cubana. En Cuba hay experiencia de técnicos y productores en la producción de semillas de guinea Común y Likoni. Sin embargo, para la variedad Mombasa, no existen resultados que se puedan avalar técnica y económicamente.

La compra de semillas en el mercado internacional crea dependencia y necesita de una inversión que el país no puede realizar en este momento. Ante esta problemática, se impone la necesidad de buscar alternativas para su producción bajo diferentes condiciones de manejo y conocer sus rendimientos productivos, lo que constituye un propósito fundamental de esta tesis. Por otra parte, son escasas las investigaciones donde se describa mediante la modelación estadística-matemática el comportamiento de esta especie, el empleo de esta herramienta estadística permitirá adoptar estrategias de manejo para la siembra y propagación de semilla de esta variedad. A partir de lo expuesto con anterioridad la investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento sobre la modelación matemática para describir la producción de semilla *Megathyrsus maximus* vc. Mombasa.

and the animal products that are extracted from it are intimately linked to these indicators. In addition, for a seed to be considered of quality, it must have the capacity to germinate and produce a normal plant. The few sowings that were made in Cuba were imported seeds, so the price of their sales in the international market was very high. Hence, any attempt to produce them in the national territory constitutes an option from the tactical-technical, economic and strategic point of view that would benefit Cuban livestock. In Cuba there is experience of technicians and producers in the production of Common guinea and Likoni seeds. However, for the Mombasa variety, there are no results that can be technically and economically guaranteed.

The purchase of seeds on the international market creates dependency and requires an investment that the country cannot make at this time. Faced with this problem, it is necessary to seek alternatives for its production under different management conditions and to know its productive yields, which constitutes a fundamental purpose of this thesis. On the other hand, there are few investigations where the behavior of this species is described through statistical-mathematical modeling, the use of this statistical tool will allow the adoption of management strategies for the sowing and propagation of seed of this variety. Based on the above, the research aims to contribute to the knowledge about mathematical modeling to describe the production of *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa.

## Desarrollo

### Definición de modelo

Según Ramos *et al.*, (2010) un modelo es, una herramienta de ayuda a la toma de decisiones. Por esta razón, sus resultados deben ser entendibles y útiles. Se puede entender simultáneamente como ciencia y como arte. Es una ciencia pues se basa en un conjunto de procesos estructurados: análisis y detección de las relaciones entre los datos, establecimiento de suposiciones y aproximaciones en la representación de los problemas, desarrollo o uso de algoritmos específicos de solución. Es un arte porque materializa una visión o interpretación de la realidad no siempre de manera unívoca.

Un modelo es la idealización de alguna cosa de tal forma que se simplifique algo que en su identidad real es sumamente complejo. Para construir un modelo hay que conocer de forma precisa los componentes y procesos que intervienen en el sistema, de tal forma que se pueda expresar mediante fórmulas matemáticas o ecuaciones que relacionan variables de estado, con el propósito de obtener determinada información del sistema (Hooker, 1994).

Jay (2012) y Cuevas (2014) plantean que un modelo es la representación ideal de un sistema y la forma en que este opera, en los cuales se destacan características relevantes del objeto en estudio, cuyo objetivo es analizar o predecir el comportamiento futuro, además es por excelencia la herramienta principal que utiliza la estadística para simbolizar problemas o situaciones de la vida. Un caso particular lo constituyen los modelos matemáticos.

Un modelo es la representación de aquellas características esenciales del objeto que se investiga, que cumple una función heurística, ya que permite descubrir y estudiar nuevas

## Developing

### Model Definition

According to Ramos *et al.*, (2010) a model is a decision-making support tool. For this reason, your results must be understandable and useful. It can be understood simultaneously as science and as art. It is a science because it is based on a set of structured processes: analysis and detection of relationships between data, establishment of assumptions and approximations in the representation of problems, development or use of specific solution algorithms. It is an art because it materializes a vision or interpretation of reality, not always univocally.

A model is the idealization of something in such a way as to simplify something that in its real identity is extremely complex. To build a model, it is necessary to know precisely the components and processes that intervene in the system, in such a way that it can be expressed through mathematical formulas or equations that relate state variables, with the purpose of obtaining certain information about the system (Hooker, 1994).

Jay (2012) and Cuevas (2014) state that a model is the ideal representation of a system and the way it operates, in which relevant characteristics of the object under study are highlighted, whose objective is to analyze or predict future behavior, It is also par excellence the main tool used by statistics to symbolize problems or situations in life. A particular case is made up of mathematical models.

A model is the representation of those essential characteristics of the object under investigation, which fulfills a heuristic function, since it allows discovering and studying new

relaciones y cualidades de ese objeto de estudio con vistas a la transformación de la realidad (Valle, Euclides y Macedo,2021)

Un modelo puede entenderse como un sistema figurativo mental, gráfico o tridimensional que reproduce o representa la realidad en forma esquemática para hacerla más comprensible. Es una construcción o artefacto material o mental, un sistema a veces se denomina también “una estructura”que se puede usar como referencia para lo que se trata de comprender; una imagen analógica que permite volver cercana y concreta una idea o un concepto para su apropiación y manejo (MEN, 2006).

Un modelo es la expresión matemática o gráfica que puede representar las características esenciales de un fenómeno dado y que puede simbolizar la realidad de dicho fenómeno. Resulta de gran utilidad en cualquier rama del conocimiento.

## Modelos matemáticos

Es un sistema axiomático construido por términos indefinidos que son obtenidos por la abstracción y cualificación de ideas del mundo real. Se define como una construcción matemática dirigida a estudiar un sistema o fenómeno particular del mundo real. Este modelo puede incluir gráficas, símbolos, simulaciones y construcciones experimentales (Giordano, Weir y Fox, 1997).

León-Velarde y Barrera (2003) informan que los modelos matemáticos describen relaciones entre variables y parámetros y de forma general son representaciones de las características importantes de un sistema para sintetizar el conocimiento científico. Los modelos matemáticos son una herramienta de gran utilidad para predecir el comportamiento de un

relationships and qualities of that object of study with a view to transforming reality (Valle, Euclides and Macedo .2021)

A model can be understood as a mental, graphic or three-dimensional figurative system that reproduces or represents reality schematically to make it more understandable. It is a material or mental construction or artifact, a system is sometimes also called "a structure" that can be used as a reference for what is to be understood; an analog image that allows an idea or a concept to become close and concrete for its appropriation and management (MEN, 2006).

A model is the mathematical or graphic expression that can represent the essential characteristics of a given phenomenon and that can symbolize the reality of said phenomenon. It is very useful in any branch of knowledge.

## Mathematical models

It is an axiomatic system built by indefinite terms that are obtained by abstracting and qualifying ideas from the real world. It is defined as a mathematical construction aimed at studying a particular system or phenomenon in the real world. This model can include graphs, symbols, simulations, and experimental constructs (Giordano, Weir, & Fox, 1997).

León-Velarde and Barrera (2003) report that mathematical models describe relationships between variables and parameters and, in general, are representations of the important characteristics of a system to synthesize scientific knowledge. Mathematical models are a very useful tool for predicting the behavior of a certain phenomenon, as well as optimizing

determinado fenómeno, así como optimizar los procesos.

Según Lehrer y Shauble (2007), un modelo matemático es como una analogía que estandariza y representa, predice y elabora fenómenos en el mundo. El modelo matemático se puede definir como una ecuación o conjunto de ecuaciones que simulan de manera aproximada la relación estímulo respuesta de un sistema de reglas semánticas que permiten interpretar el cálculo matemático formal y abstracto.

En los estándares para la práctica de las matemáticas definen el modelo como el proceso de seleccionar y utilizar las matemáticas a través de una simplificación de la realidad que se expresa en un lenguaje simbólico tomando la forma de ecuaciones, algoritmos, relaciones gráficas e incluso párrafos (Anhalt *et al.*, 2018). Es decir, los modelos matemáticos pueden expresarse de diferentes modos para desarrollar el pensamiento, mientras que su construcción y manipulación apoyan el desempeño de varias funciones cognoscitivas (Gilbert y Justi, 2016).

Un modelo matemático es un conjunto de ecuaciones, operaciones algebraicas, gráficos, etc., que representan las interconexiones en un sistema, y se puede trabajar a mano o con un ordenador. Las ecuaciones están escritas en términos de objetos matemáticos (Muthuri, 2009).

Los modelos matemáticos articulan principalmente los aspectos estructurales de los sistemas conceptuales que se describen utilizando datos cuantitativos y cumplen criterios específicos (Grant, 2012); es decir, los modelos matemáticos deben ser compatibles y modificables para que puedan ser utilizados para construir, explicar, predecir o controlar sistemas en un determinado contexto (Lesh y Doerr,

processes.

According to Lehrer and Shauble (2007), a mathematical model is like an analogy that standardizes and represents, predicts and elaborates phenomena in the world. The mathematical model can be defined as an equation or set of equations that roughly simulate the stimulus-response relationship of a system of semantic rules that allow interpreting the formal and abstract mathematical calculation.

In the standards for the practice of mathematics they define the model as the process of selecting and using mathematics through a simplification of reality that is expressed in a symbolic language taking the form of equations, algorithms, graphic relationships and even paragraphs ( Anhalt *et al.*, 2018). That is, mathematical models can be expressed in different ways to develop thinking, while their construction and manipulation support the performance of various cognitive functions (Gilbert & Justi, 2016).

A mathematical model is a set of equations, algebraic operations, graphs, etc., that represent the interconnections in a system, and can be worked on by hand or with a computer. The equations are written in terms of mathematical objects (Muthuri, 2009).

Mathematical models mainly articulate the structural aspects of conceptual systems that are described using quantitative data and meet specific criteria (Grant, 2012); that is, mathematical models must be compatible and modifiable so that they can be used to build, explain, predict or control systems in a given context (Lesh and Doerr, 2003).



2003).

## Tipos de modelos

Existen diferentes clasificaciones de los modelos. Una de las más generales es la presentada por (Torres, 1995); según la cual un modelo puede ser una réplica del objeto que representa. Cambiando la escala o el material con el que se construye se denomina isomórfico y cuando tiene algún grado de abstracción del objeto que representa, teniendo en cuenta solamente las variables más relevantes, se denomina homomórfico.

Es importante señalar que a mayor nivel de abstracción hay menor grado de similitud y uniformidad entre modelo y objeto representado y viceversa (Torres y Ortiz, 2005). De acuerdo con el nivel de abstracción, se pueden agrupar los modelos físicos y de escala como isomórficos y los análogos, matemáticos y de simulación como homomórficos.

Según Ramos (2021) los modelos matemáticos pueden clasificarse de acuerdo al resultado que predicen como: los modelos deterministas pronostican un mismo resultado en sus mediciones debido a que parten de un punto de vista determinado, esto se debe a que ignoran la variación aleatoria. Los modelos estocásticos son aquellos que predicen la distribución de los posibles resultados ya que son de naturaleza más estadística.

Este autor señala que los modelos mecanicistas son aquellos que utilizan bastante información teórica y describe lo que sucede en un nivel de la jerarquía al considerar procesos en niveles inferiores. Además de que tienen en cuenta los mecanismos a través de los cuales ocurren los cambios. Los modelos empíricos son aquellos

## Model types

There are different classifications of models. One of the most general is the one presented by (Torres, 1995); according to which a model can be a replica of the object it represents. Changing the scale or the material with which it is built is called isomorphic and when it has some degree of abstraction from the object it represents, taking into account only the most relevant variables, it is called homomorphic.

It is important to point out that at a higher level of abstraction, there is a lower degree of similarity and uniformity between the model and the represented object and vice versa (Torres and Ortiz, 2005). According to the level of abstraction, physical and scaling models can be grouped as isomorphic and analogous, mathematical and simulation models as homomorphic.

According to Ramos (2021), mathematical models can be classified according to the result they predict as follows: deterministic models predict the same result in their measurements because they start from a certain point of view, this is because they ignore random variation. Stochastic models are those that predict the distribution of possible outcomes as they are more statistical in nature.

This author points out that mechanistic models are those that use a lot of theoretical information and describe what happens at one level of the hierarchy when considering processes at lower levels. In addition to taking into account the mechanisms through which changes occur. Empirical models are those where what happens is pointed out, trying to

donde se señala lo que ocurre, intenta dar una visión cuantitativa de los cambios asociados con diferentes condiciones. Es decir, este tipo de modelos no se tiene en cuenta el mecanismo por el cual ocurren los cambios en el sistema

## Modelación Matemática

La modelación matemática se concibe como el proceso cognitivo que se tiene que llevar a cabo para llegar a la construcción del modelo matemático de un problema u objeto del área del contexto Camarena (2008).

Por otra parte Cruz (2010) plantea que la modelación matemática se entiende como un proceso intelectual en el cual se dispone de:

1. Una situación-problema dada en un contexto, generalmente de realizaciones prácticas, en la cual se requiere obtener una meta, respuesta o decisión acerca de cómo se deberá proceder o cómo se deberá usar un recurso para obtener el mejor resultado entre una variedad de ellos.
2. La formulación de la situación-problema del mundo real en términos matemáticos, generalmente a través de ecuaciones o relaciones entre variables que describen la situación dada (esto es, la construcción del modelo matemático en sí).
3. La solución y análisis del problema matemático obtenido.
4. La interpretación de los resultados matemáticos vistos en el contexto de la situación real original (por ejemplo, verificar si ella se corresponde con la pregunta originalmente propuesta o implícita en la situación-problema original).

give a quantitative view of the changes associated with different conditions. That is, this type of model does not take into account the mechanism by which changes occur in the system.

## Mathematical Modeling

Mathematical modeling is conceived as the cognitive process that must be carried out to arrive at the construction of the mathematical model of a problem or object in the Camarena context area (2008).

On the other hand, Cruz (2010) states that mathematical modeling is understood as an intellectual process in which:

1. A situation-problem given in a context, generally of practical realizations, in which it is required to obtain a goal, answer or decision about how to proceed or how a resource should be used to obtain the best result among a variety of they.
2. The formulation of the real-world problem-situation in mathematical terms, generally through equations or relations between variables that describe the given situation (that is, the construction of the mathematical model itself).
3. The solution and analysis of the mathematical problem obtained.
4. The interpretation of the mathematical results seen in the context of the original real situation (for example, verifying if it corresponds to the question originally proposed or implicit in the original problem-situation).

Para Hestenes (2010), la modelación matemática trata de la investigación de las implicaciones de las formas de pensado en la realidad; es decir, se requiere expresar construcciones informales de la realidad de una manera formal y por lo tanto cambia su percepción (su aparición en la realidad social y personal).

La obtención de nuevos datos mediante la experimentación agronómica, además de generar resultados específicos para cada lugar en concreto en el espacio y el tiempo es un proceso costoso (Jones, Makowsky y Wallach, 2006), para conocer este fenómeno se hace necesaria la búsqueda de otras alternativas para dar respuesta a tal situación. Autores como (Rodríguez, Gutiérrez y Rodríguez, 2010) y Rodríguez (2015) proponen el uso de la modelación.

Los modelos matemáticos se utilizan en diferentes ramas del conocimiento por la posibilidad de expresar matemáticamente las relaciones entre los fenómenos (Jay, 2012). Estos resultan herramientas de amplia utilización en los últimos años para lograr los objetivos propuestos.

### **Investigaciones científicas que han utilizado la modelación matemática para describir el comportamiento de los pastos.**

La modelación matemática y la simulación por computadora son herramientas de mucha utilidad en los diferentes campos del saber humano. En la actualidad, la modelación es un instrumento muy común en el estudio de sistemas y el desarrollo acelerado de las técnicas de computación han permitido este desarrollo. Desde la década de los 80 se ha venido utilizando la modelación por algunos investigadores cubanos con el objetivo de describir el crecimiento de cultivares (Torres y Ortiz, 2005).

For Hestenes (2010), mathematical modeling deals with the investigation of the implications of ways of thinking in reality; that is, it is required to express informal constructions of reality in a formal way and therefore its perception changes (its appearance in social and personal reality).

Obtaining new data through agronomic experimentation, in addition to generating specific results for each specific place in space and time, is a costly process (Jones, Makowsky and Wallach, 2006), in order to know this phenomenon it is necessary to search for other alternatives to respond to such a situation. Authors such as (Rodríguez, Gutiérrez and Rodríguez, 2010) and Rodríguez (2015) propose the use of modeling.

Mathematical models are used in different branches of knowledge due to the possibility of mathematically expressing the relationships between phenomena (Jay, 2012). These are widely used tools in recent years to achieve the proposed objectives.

### **Scientific research that has used mathematical modeling to describe the behavior of grasses.**

Mathematical modeling and computer simulation are very useful tools in the different fields of human knowledge. At present, modeling is a very common instrument in the study of systems and the accelerated development of computing techniques has allowed this development. Since the 1980s, modeling has been used by some Cuban researchers with the aim of describing the growth of cultivars (Torres and Ortiz, 2005).

Las aplicaciones de la modelación en Cuba tuvieron sus inicios en los trabajos de Del Pozo y Herrera (1995), Del Pozo (1998) y Torres *et al.*, (1999) en pasto estrella (*C. nlemfuensis*). Estos autores encontraron relaciones polinómicas entre las variables, sin embargo, en estos modelos los parámetros no tienen interpretación biológica. Posteriormente se modeló y simuló el comportamiento productivo del pasto estrella (*C. nlemfuensis*) bajo diferentes frecuencias de corte, niveles de fertilización y condiciones climatológicas adversas para el desarrollo de este cultivo. El modelo Gompertz utilizado ajustó los datos con coeficientes de determinación que estuvieron alrededor del 99 % para los períodos lluvioso y poco lluvioso.

Los modelos matemáticos aplicados al crecimiento de las plantas permiten estimar o predecir su comportamiento temporal en diferentes condiciones (Thornley y France, 2007). Para su correcta utilización se deben tener en cuenta tres aspectos fundamentales: a) bondad del ajuste de los datos, b) capacidad de interpretación biológica, c) exigencias computacionales (Chacín, 1998). En la actualidad, este último no constituye una limitación, debido al desarrollo alcanzado por las ciencias computacionales.

Para la producción de forrajes, en gramíneas rastreras y de porte bajo, Del Pozo (1998) analizó el crecimiento del pasto estrella (*C. nlemfuensis*) en condiciones de corte y pastoreo, con y sin adición de fertilizante nitrogenado. En esta misma variedad, Torres *et al.*, (1999) estimaron un modelo para describir el crecimiento en condiciones de pastoreo, pero en función del tiempo de reposo. Estos autores recomendaron estudios similares en otras especies tropicales con hábito de crecimiento rastrero o erecto. Posteriormente (López, 2016) modeló y simuló el rendimiento de este mismo cultivo bajo diferentes condiciones de manejo y escenarios climáticos.

The applications of modeling in Cuba had their beginnings in the works of Del Pozo and Herrera (1995), Del Pozo (1998) and Torres *et al.*, (1999) in star grass (*C. nlemfuensis*). These authors found polynomial relationships between the variables, however, in these models the parameters have no biological interpretation. Subsequently, the productive behavior of star grass (*C. nlemfuensis*) was modeled and simulated under different cutting frequencies, fertilization levels and adverse weather conditions for the development of this crop. The Gompertz model used adjusted the data with coefficients of determination that were around 99% for the rainy and dry periods.

Mathematical models applied to plant growth allow estimating or predicting their temporal behavior under different conditions (Thornley and France, 2007). For its correct use, three fundamental aspects must be taken into account: a) goodness of fit of the data, b) capacity for biological interpretation, c) computational requirements (Chacín, 1998). Currently, the latter is not a limitation, due to the development achieved by computational sciences.

For forage production, in creeping and low-growing grasses, Del Pozo (1998) analyzed the growth of star grass (*C. nlemfuensis*) under mowing and grazing conditions, with and without the addition of nitrogenous fertilizer. In this same variety, Torres *et al.*, (1999) estimated a model to describe growth under grazing conditions, but as a function of resting time. These authors recommended similar studies in other tropical species with creeping or erect growth habit. Subsequently (López, 2016) modeled and simulated the yield of this same crop under different management conditions and climatic scenarios.

García *et al.* (2009), estudiaron la dinámica de crecimiento de Mombasa (*P. Maximum*). Otros autores tales como Díaz (2007), Martínez *et al.*, (2010), Rodríguez *et al.*, (2011), Fortes (2012) y Rodríguez *et al.*, (2013), estudiaron la dinámica de acumulación de biomasa del kingrass (*P. purpureum*) y de algunos de sus clones con el empleo de modelos no lineales, sin embargo en su generalidad solo se abordó el tema orientado a la bondad de ajuste del modelo y no a la interpretación biológica de los resultados.

Se aprecia que son escasos los trabajos relacionados con el tema de la modelación de la producción de pastos y forrajes en el país, principalmente la producción de semilla de la *Megathyrus maximus* y aunque existen modelos especializados que se puedan utilizar como elemento de partida, es necesario desarrollar modelos adaptados a nuestras condiciones que puedan servir como herramienta útil en la toma de decisiones.

## Especie *Megathyrus maximus*

Según Milera *et al.*, (2017) *Megathyrus* es una especie originaria de África del Este (fundamentalmente de Tanzania, Costa de Marfil, Uganda y Kenia). En 1977 se inicia en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” (eepfih) el Programa Nacional de Introducción, Evaluación y Utilización de Especies Praterenses y Forrajeras, que tuvo entre las principales bases para su elaboración la escasez de gramíneas endémicas o naturalizadas adecuadas para estos fines. No obstante, el programa de mejoramiento genético se centró en *M. maximus*, por su adaptabilidad, producción de MS y aceptación por los animales, entre otros.

La búsqueda de nuevas y mejores alternativas forrajeras ha dado como resultado la selección y

García *et al.* (2009), studied the growth dynamics of Mombasa (*P. Maximum*). Other authors such as Díaz (2007), Martínez *et al.*, (2010), Rodríguez *et al.*, (2011), Fortes (2012) and Rodríguez *et al.*, (2013), studied the biomass accumulation dynamics of kingrass (*P. purpureum*) and some of its clones with the use of nonlinear models, however, in general, only the goodness of fit of the model was addressed and not the biological interpretation of the results.

It is appreciated that there are few works related to the subject of modeling the production of pastures and forages in the country, mainly the seed production of *Megathyrus maximus* and although there are specialized models that can be used as a starting point, it is necessary develop models adapted to our conditions that can serve as a useful tool in decision-making.

## Species *Megathyrus maximus*

According to Milera *et al.*, (2017) *Megathyrus* is a species native to East Africa (mainly from Tanzania, Ivory Coast, Uganda and Kenya). In 1977, the “Indio Hatuey” Pastures and Forages Experimental Station (eepfih) began the National Program for the Introduction, Evaluation and Use of Grassland and Forage Species, which had among the main bases for its development the scarcity of endemic or naturalized grasses. suitable for these purposes. However, the genetic improvement program focused on *M. maximus*, due to its adaptability, DM production and acceptance by animals, among others.

The search for new and better forage alternatives has resulted in the selection and improvement of new pastures. Species such as

mejoramiento de nuevos pastos. Especies como el pasto *Megathyrsus maximus* son una de la más distribuidas alrededor del mundo y de mucha importancia en el país. Es buena para pastoreo, corte, ensilaje, además presenta buenas condiciones de morfoestructura que le permite la combinación con algunas especies de leguminosas herbáceas y arbóreas, sobresaliendo el Panicum por su alto rendimiento de materia verde y materia seca (Díaz y Manzanares 2006)

Los *Megathyrsus maximus*, se conocen con el nombre de Guineas, todas son especies macolladas de alto crecimiento por lo que podrían ser utilizadas en pastoreo o en corte, estos presentan buenos rendimientos en condiciones de trópico húmedo, pero requieren suelos de moderada a alta fertilidad y de no ser así, adecuados programas de fertilización para no tener problemas de pérdida de vigorosidad, aunque se han dado casos de algunas líneas que presentan tolerancia a bajas fertilidades (Villareal, 1998).

### **Tipos de cultivares de *Megathyrsus maximus***

Según Hernández, Carballo y Reyes, (2000) el *Megathyrsus maximus* es una planta perfectamente adaptada a las condiciones de Cuba, aunque es probable que su potencial de producción se afecte condicionado por los factores del ambiente prevalecientes en esta zona, cuando está sometida a cortes reiterados y no se restituyen los nutrientes que son extraídos en función de la producción de la biomasa.

Patiño, Gómez y Navarro, (2018) plantean que los pastos Tanzania y Mombasa, cultivares de *Megathyrsus maximus* (Jacq.), disponibles comercialmente, vienen despertado interés por las características de calidad y producción. Sin embargo, el manejo de estas plantas en ocasiones

the grass *Megathyrsus maximus* are one of the most widely distributed around the world and very important in the country. It is good for grazing, cutting, silage, it also has good morphostructure conditions that allow it to be combined with some species of herbaceous and tree legumes, Panicum standing out for its high yield of green matter and dry matter (Díaz and Manzanares 2006).

The *Megathyrsus maximus*, are known by the name of Guineas, they are all high-growing tufted species, so they could be used for grazing or cutting, they have good yields in humid tropical conditions, but require soils of moderate to high fertility and if not, adequate fertilization programs to avoid problems of loss of vigor, although there have been cases of some lines that show tolerance to low fertility (Villareal, 1998).

### **Types of cultivars of *Megathyrsus maximus***

According to Hernández, Carballo and Reyes, (2000) the *Megathyrsus maximus* is a plant perfectly adapted to the conditions of Cuba, although it is likely that its production potential is affected by the prevailing environmental factors in this area, when it is subjected to cuts. repeated and the nutrients that are extracted based on biomass production are not restored.

Patiño, Gómez and Navarro, (2018) state that the Tanzania and Mombasa grasses, cultivars of *Megathyrsus maximus* (Jacq.), commercially available, have aroused interest due to their quality and production characteristics. However, the management of these plants is sometimes difficult due to the characteristics of the species, mainly in relation to harvest heights

se hace difícil por las características propias de la especie, principalmente en lo relacionado a las alturas de cosecha y del residuo.

Estudios realizados por Hare *et al.*, (2015) encontraron diferencias en la calidad nutricional de los cultivares de *Megathyrsus maximus* Jacq. Tanzania y Mombasa en respuesta a la fertilización nitrogenada, lo que sugiere, que al incluir animales en dichas pasturas se podrían observar desempeños productivos diferenciados.

En una investigación realizada por Patiño, Gómez y Navarro, (2018) en Colombia observaron que en la calidad nutricional, el cultivar Tanzania presentó ventajas comparativas sobre Mombasa, lo que sería una ventaja competitiva importante en términos de productividad ganadera.

El pasto Tanzania es un cultivar mejorado de Guinea o Privilegio, su elevada calidad nutricional lo ubica como una de las gramíneas forrajeras tropicales más nutritivas que existen, por su abundante producción de hojas (80 % de la planta) de elevada calidad nutritiva y excelente digestibilidad, lo hacen una muy buena alternativa para alimentar vacas lecheras, finalizar novillos o alimentar becerros en desarrollo, ya sea en pastoreo o ensilaje (Erazo, 2014)

La Guinea Tanzania es un pasto que tolera el pisoteo y la sequía, es alto productor de forraje de buena calidad, palatabilidad y digestibilidad. Presenta alta capacidad de rebrote con períodos de descanso de 35 días (Lobo y Díaz, 2001). El nuevo crecimiento o rebrote de las plantas, después del pastoreo, depende de la remoción de los órganos de acumulación de carbohidratos no estructurales. Los pastos de crecimiento erecto acumulan carbohidratos en la parte basal de los tallos, en la sección de 7 a 10 cm del cuello de la planta hacia arriba (Bernal y

and residue.

Studies carried out by Hare *et al.*, (2015) found differences in the nutritional quality of *Megathyrsus maximus* Jacq cultivars. Tanzania and Mombasa in response to nitrogen fertilization, which suggests that by including animals in these pastures, differentiated productive performances could be observed.

In a research carried out by Patiño, Gómez and Navarro, (2018) in Colombia, they observed that in nutritional quality, the Tanzania cultivar presented comparative advantages over Mombasa, which would be an important competitive advantage in terms of livestock productivity.

Tanzania grass is an improved cultivar from Guinea or Privilege, its high nutritional quality places it as one of the most nutritious tropical forage grasses that exist, due to its abundant production of leaves (80% of the plant) of high nutritional quality and excellent digestibility, make it a very good alternative to feed dairy cows, finish steers or feed developing calves, either grazing or silage (Erazo, 2014)

Guinea Tanzania is a grass that tolerates trampling and drought, it is a high producer of forage of good quality, palatability and digestibility. It has a high regrowth capacity with rest periods of 35 days (Lobo and Díaz, 2001). The new growth or regrowth of the plants, after grazing, depends on the removal of the non-structural carbohydrate accumulation organs. Erect growth grasses accumulate carbohydrates in the basal part of the stems, in the section of 7 to 10 cm from the neck of the plant upwards (Bernal and Espinoza, 2003). Tanzania is the most widely used introduced

Espinoza, 2003). La Tanzania es la gramínea introducida que más se utiliza, y se caracteriza por la alta producción de forraje y el buen valor nutricional (Mojica *et al.*, 2013)

La Guinea Mombasa es una variedad liberada en 1993, en Brasil, por Embrapa Ganado de Carne (CNPGC), como resultado del trabajo conjunto de varias instituciones nacionales (Alves *et al.*, 2000). Esta variedad muestra características superiores con respecto a otras que se obtuvieron y liberaron también en Brasil. Por tanto, se considera una de las especies forrajeras tropicales más productivas (Anon, 2007). Los primeros ensayos se realizaron en Paraná, donde superó a otros cultivares, demostrando alto potencial productivo para la producción de forrajes como para el pastoreo intensivo. En estas condiciones llegaron a obtenerse producciones de 33 t de MS/ha/año (Jank, 1995 y Müller *et al.*, 2002).

Por otra parte, Milera *et al.*, (2017) informan que el *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon y S.W.L. Jacobs (*Megathyrsus maximus* Jacq.) se introdujeron en Cuba en 1967, procedente de la isla Guadalupe, y en 1977 en la estación experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey se inicia el trabajo de mejoramiento genético. A mediados de la década del 80 se iniciaron los estudios relacionados con la micro propagación de *M. maximus* cv. Likoni y la regeneración de plantas a partir del cultivo de tejidos. En el año 1990 se complementaron las investigaciones realizadas hasta esta fecha, con la caracterización isoenzimática de los somaclones de *M. maximus* Jacq. cv. Likoni, los cuales fueron evaluados agrónomicamente en campo y se identificaron los más promisorios por su rendimiento y calidad. Además una de las ventajas de este pasto es que es posible efectuar seis cosechas al año, pero si no se aplica riego se obtienen de tres a cuatro.

grass, and is characterized by high forage production and good nutritional value (Mojica *et al.*, 2013).

The Guinea Mombasa is a variety released in 1993, in Brazil, by Embrapa Ganado de Beef (CNPGC), as a result of the joint work of several national institutions (Alves *et al.*, 2000). This variety shows superior characteristics with respect to others that were also obtained and released in Brazil. Therefore, it is considered one of the most productive tropical forage species (Anon, 2007). The first trials were carried out in Paraná, where it outperformed other cultivars, showing high productive potential for forage production as well as for intensive grazing. Under these conditions, productions of 33 t of DM/ha/year were obtained (Jank, 1995 and Müller *et al.*, 2002).

On the other hand, Milera *et al.*, (2017) report that *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon and S.W.L. Jacobs (*Megathyrsus maximus* Jacq.) were introduced in Cuba in 1967, from Guadalupe Island, and in 1977 at the Indio Hatuey Pastures and Forages experimental station, work on genetic improvement began. In the mid-1980s, studies related to the micropropagation of *M. maximus* cv. Likoni and plant regeneration from tissue culture. In 1990, the investigations carried out up to this date were complemented with the isoenzymatic characterization of the somaclones of *M. maximus* Jacq. CV Likoni, which were agronomically evaluated in the field and the most promising for their yield and quality were identified. In addition, one of the advantages of this grass is that it is possible to make six harvests a year, but if irrigation is not applied, three to four are obtained.



En este sentido, se puede plantear que este pasto se adapta con facilidades a diferentes condiciones climáticas, aunque cuando existe exceso de lluvias este se puede afectar lo que influye en sus rendimientos productivos, sin embargo, ha sido un pasto difundido e introducido en la zona tropical por las ventajas que posee. Además se informa que en edades tempranas el ganado aprovecha mejor sus bondades.

### **Características agronómicas**

Crespo (1999), Padilla y Flebes (2003) informan que con suficiente humedad en el suelo y aplicación de nitrógeno, sus rendimientos anuales pueden ser superiores a 20 toneladas de MS/ha, siendo aún mayores con altas dosis de nitrógeno, esta especie ha producido más de 45 toneladas de MS/ha el primer año de instalación en Puerto Rico. En condiciones de seco y sin fertilización, pueden producir hasta 12 toneladas de MS/ha/año, pero con la aplicación de fertilizante y bajo irrigación, su rendimiento puede alcanzar hasta 26 toneladas de MS/ha/año.

Pita (2010) plantea que son variedades perennes, con una altura (hasta 250 cm) y vigorosa. La raíz es adventicia, el tallo posee generalmente pelos largos en los nudos, las hojas son alternas, situadas en 2 hileras sobre el tallo, la inflorescencia es una panícula grande, las flores son muy pequeñas y presenta una sola semilla fusionada a la pared del fruto.

La alta variabilidad climática y en la disponibilidad de forraje durante el año, junto con la necesidad de utilizar los alimentos de menor costo para los rumiantes, ha contribuido a una mayor demanda de alternativas forrajeras; ya sea en forma de monocultivo, de reservas o asociados con subproductos provenientes de la

In this sense, it can be argued that this grass adapts easily to different climatic conditions, although when there is excess rainfall this can affect what influences its productive yields, however, it has been a widespread grass introduced in the area. tropical for the advantages it has. In addition, it is reported that at an early age, cattle take better advantage of its benefits.

### **Agronomic characteristics**

Crespo (1999), Padilla and Flebes (2003) report that with sufficient soil moisture and nitrogen application, their annual yields can exceed 20 tons of DM/ha, being even higher with high doses of nitrogen, this species has produced more than 45 tons of DM/ha in the first year of installation in Puerto Rico. Under rainfed conditions and without fertilization, they can produce up to 12 tons of DM/ha/year, but with the application of fertilizer and under irrigation, their yield can reach up to 26 tons of DM/ha/year.

Pita (2010) states that they are perennial varieties, with a height (up to 250 cm) and vigorous. The root is adventitious, the stem generally has long hairs at the nodes, the leaves are alternate, located in 2 rows on the stem, the inflorescence is a large panicle, the flowers are very small and it has a single seed fused to the wall of the stem. fruit.

The high climatic variability and in the availability of forage during the year, together with the need to use lower cost feeds for ruminants, has contributed to a greater demand for forage alternatives; either in the form of monoculture, reserves or associated with by-products from the agri-food industry (Espinoza

industria agroalimentaria (Espinoza *et al.*, 2017).

Según Ledesma (2006) el *Megathyrus maximus* es una especie tolerante al pisoteo y la sequía, y es un alto productor de forraje de buena calidad, palatabilidad y digestibilidad; además se desarrolla bien en sistemas silvopastoriles con una clara ventaja sobre otras especies de pasto, porque tiene la capacidad de soportar ciertos niveles de sombra sin interferir en su producción. No obstante, su rendimiento se ve afectado por el régimen de lluvias, mostrando niveles inferiores en épocas de seca (Nuñez, 2017).

Tobar (2016) señala que el pasto Guinea se cultiva ampliamente en América del Sur, se adapta a suelos de mediana a alta fertilidad, bien drenados y con pH entre 6 y 8 en alturas que van desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm; exige precipitaciones de 900 a 2000 mm y temperatura superior a 18°C; su hábito de crecimiento es erecto, en forma de matorros, alcanzando alturas de 1,60 a 1,85 m; posee un amplio sistema radical que lo hace tolerante a las sequías; además una panícula grande (de hasta 50 cm de largo) con numerosos racimos rígidos y ascendentes, los cuales en la parte inferior de la inflorescencia están dispuestos en verticilos y cada racimo contiene numerosas espiguillas; los ejes de la inflorescencia son a veces ondulados; y se considera que el pastoreo debe realizarse en el estado de prefloración, momento en el cual el pasto alcanza un alto valor nutritivo y buena palatabilidad.

De acuerdo a las condiciones de adaptación de esta gramínea, resulta de gran importancia su uso como planta de forraje para la alimentación animal, su desarrollo se establece principalmente en época poco lluviosa, por lo que su aprovechamiento es beneficioso en este periodo por el déficit de alimento para los animales. Se señala además, que por sus características

*et al.*, 2017).

According to Ledesma (2006), *Megathyrus maximus* is a species that is tolerant to trampling and drought, and is a high producer of forage of good quality, palatability, and digestibility; In addition, it develops well in silvopastoral systems with a clear advantage over other grass species, because it has the ability to withstand certain levels of shade without interfering with its production. However, its yield is affected by the rainfall regime, showing lower levels in dry seasons (Nuñez, 2017).

Tobar (2016) points out that Guinea grass is widely cultivated in South America, it adapts to soils of medium to high fertility, well drained and with a pH between 6 and 8 at altitudes ranging from sea level to 2000 meters above sea level; it requires rainfall of 900 to 2000 mm and temperatures above 18°C; its growth habit is erect, in the form of bushes, reaching heights of 1.60 to 1.85 m; it has a wide root system that makes it tolerant to droughts; also a large panicle (up to 50 cm long) with numerous rigid ascending racemes, which in the lower part of the inflorescence are arranged in whorls and each raceme contains numerous spikelets; inflorescence axes sometimes wavy; and it is considered that grazing should be done in the pre-flowering state, at which time the grass reaches a high nutritional value and good palatability.

According to the adaptation conditions of this grass, its use as a forage plant for animal feed is of great importance, its development is established mainly in the dry season, so its use is beneficial in this period due to the lack of animal feed. It is also pointed out that due to its nutritional characteristics it must be considered in the productive units.

nutricionales debe ser considerada en las unidades productivas.

## Factores que influyen en la producción de semillas

La producción de semillas de *Megathyrsus maximus* se estudió con el objetivo de optimizar las siembras de este pasto. Se investigó acerca de la escarificación y ruptura de la dormancia (Febles y Padilla, 1970), así como el efecto de las variedades (Febles *et al.*, 1996), la época de corte y el fertilizante (Padilla y Febles, 1980), el fertilizante nitrogenado y el momento de aplicarlo (Febles, Pérez y Padilla, 1982), la fertilización fosfórica y potásica (Febles *et al.* 1997a) y la nutrición mineral y densidad de plantas (Febles *et al.*, 1997b).

Según Díaz y Manzanares (2006) el mejor período para utilizar las semillas adecuadamente almacenadas, es entre los seis a doce meses después de cortada, antes o después de este lapso de tiempo, la germinación disminuye.

Según Humphreys y Riveros (1986) la producción de semillas de algunos pastos puede ser cinco o diez veces superior en un lugar con respecto a otro al dar similar nivel de atención cultural. En algunos lugares las plantas pueden crecer y permanecer normalmente; sin embargo, las condiciones no les permiten producir semillas. Estos mismos autores consideran como requisitos climáticos más importantes

1. La duración adecuada de la temporada vegetativa. Se plantea que la luz solar y la humedad relativa deben ser abundantes para que un buen cultivo pueda llegar a su madurez, aunque el empleo del riego puede incrementar ese período vegetativo.

## Factors Influencing Seed Production

The seed production of *Megathyrsus maximus* was studied with the aim of optimizing the sowing of this grass. Scarification and dormancy breaking were investigated (Febles and Padilla, 1970), as well as the effect of the varieties (Febles *et al.*, 1996), the cutting season and the fertilizer (Padilla and Febles, 1980), nitrogenous fertilizer and the moment of applying it (Febles, Pérez and Padilla, 1982), phosphoric and potassium fertilization (Febles *et al.* 1997a) and mineral nutrition and plant density (Febles *et al.*, 1997b).

According to Díaz and Manzanares (2006), the best period to use properly stored seeds is between six to twelve months after cutting, before or after this period of time, germination decreases.

According to Humphreys and Riveros (1986), the seed production of some grasses can be five or ten times higher in one place compared to another, given a similar level of cultural attention. In some places the plants can grow and remain normally; however, conditions do not allow them to produce seeds. These same authors consider as the most important climatic requirements

1. The appropriate length of the growing season. It is suggested that sunlight and relative humidity must be abundant for a good crop to reach maturity, although the use of irrigation can increase this vegetative period.
2. The right length of day and temperatures

2. La duración adecuada del día y las temperaturas que favorecen la floración. Generalmente las plantas obedecen a un fotoperíodo crítico, ya sea corto, largo o indiferente, y hasta que no se den las condiciones óptimas no florecen.
3. Las condiciones soleadas y uniformes durante la maduración. La frecuente ocurrencia de gran nubosidad conjuntamente con alta humedad, es muchas veces la causa de enfermedad y de semillas de baja viabilidad: incluso, según Evenari (1984), las diferentes fases de desarrollo de la floración desde el óvulo hasta la maduración de la semilla requieren condiciones específicas en cada una de ellas. Existen otros elementos climáticos que pueden tener efectos positivos o negativos, como el viento, pues puede ocurrir que se mezclen variedades cuya polinización sea cruzada y no estén ubicadas a una distancia adecuada.

El suelo es otro factor importante y decisivo, ya que sus propiedades son determinantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas; estas propiedades pueden ser el grado de hidratación de los suelos, el pH y la estructura.

Según señala Ferguson (1979), entre los factores que se deben tener en cuenta para la producción de semillas se hallan elementos donde interactúan la especie, la región geográfica, los métodos de siembra específicos de cada especie o cambio de zona.

El nitrógeno es uno de los factores que poseen mayor influencia sobre la producción de semillas, ya que no solamente en algunos pastos tropicales adelanta la floración sino que influye sobre componentes del rendimiento, como la cantidad de tallos generativos por área (Febles, 1981; Pérez, Matías y Reyes, 1984 y 1987). La eficiencia de la fertilización nitrogenada depende

that favor flowering. Plants generally obey a critical photoperiod, be it short, long or indifferent, and until optimal conditions are met they do not flower.

3. Sunny and uniform conditions during ripening. The frequent occurrence of heavy cloudiness together with high humidity is often the cause of disease and low viability seeds: even, according to Evenari (1984), the different phases of flowering development from the ovule to seed maturation require specific conditions in each of them. There are other climatic elements that can have positive or negative effects, such as the wind, since it can happen that varieties whose pollination is cross and are not located at an adequate distance are mixed.

The soil is another important and decisive factor, since its properties are decisive in the growth and development of plants; these properties can be the degree of hydration of the soil, the pH and the structure.

According to Ferguson (1979), among the factors that must be taken into account for seed production are elements where the species, the geographical region, the specific planting methods of each species or change of area interact.

Nitrogen is one of the factors that has the greatest influence on seed production, since not only does it advance flowering in some tropical grasses, but it also influences yield components, such as the number of generative stems per area (Febles, 1981; Pérez, Matías and Reyes, 1984 and 1987). The efficiency of nitrogen fertilization depends on several factors such as

de varios factores como el tipo de suelo, su riqueza, el clima, el riego y el tipo de planta.

Entre los factores que afectan el valor nutritivo del forraje están los que son propios de la planta (especie, edad, morfología, etc.), y los factores ambientales (temperatura) (Lattanzi, Schnyder y Bornton 2004) como radiación solar, precipitación, fertilidad y tipo de suelo. Además, hay factores bióticos (plantas indeseables, plagas y enfermedades) y factores de manejo (selección de la semilla, siembra, manejo, fertilización, enfermedades, frecuencia y altura de pastoreo, carga animal y tiempo de ocupación) que el hombre ejerce sobre la pastura (Avellaneda *et al.*, 2008; Cano *et al.*, 2004).

Entre los factores que limitan la siembra de pastos en grandes escalas principalmente cuando se va a introducir una nueva variedad es la disponibilidad de semillas, debido a esto es de enorme relevancia el estudio de las diferentes formas de siembra que permitan un adecuado y satisfactorio establecimiento de las especies con un mínimo de semillas desperdiciadas. La siembra suele realizarse con las primeras lluvias, otros factores importantes que influyen en la siembra del cultivo, es la edad y calidad de la semilla, así como el tratamiento y manejo que esta pueda tener hasta llegar a campo (Hernández y Pereira, 2011).

En este caso resulta necesario tener en cuenta factores importante que limitan el desarrollo adecuado de la semilla del *Megathyrsus maximus*, como es el caso de la edad de la planta, pues de esta dependerá la calidad de la semilla. Por otra parte, su germinación será mejor cuando se siembra en suelos húmedos con fertilidad de moderada a alta, por lo que su fertilización se debe tener en cuenta por los investigadores y productores.

the type of soil, its richness, the climate, irrigation and the type of plant.

Among the factors that affect the nutritional value of forage are those that are specific to the plant (species, age, morphology, etc.), and environmental factors (temperature) (Lattanzi, Schnyder and Bornton 2004) such as solar radiation, precipitation, fertility and soil type. In addition, there are biotic factors (undesirable plants, pests and diseases) and management factors (seed selection, planting, management, fertilization, diseases, grazing frequency and height, stocking rate and occupation time) that man exerts on the pasture (Avellaneda *et al.*, 2008; Cano *et al.*, 2004).

Among the factors that limit the sowing of grasses on large scales, mainly when a new variety is to be introduced, is the availability of seeds. Due to this, the study of the different forms of sowing that allow an adequate and satisfactory establishment of species with a minimum of wasted seeds. Sowing is usually done with the first rains, other important factors that influence the sowing of the crop, is the age and quality of the seed, as well as the treatment and management that it may have until it reaches the field (Hernández and Pereira, 2011).

In this case, it is necessary to take into account important factors that limit the proper development of the *Megathyrsus maximus* seed, such as the age of the plant, since the quality of the seed will depend on this. On the other hand, its germination will be better when planted in moist soils with moderate to high fertility, so its fertilization must be taken into account by researchers and producers.

## **Fertilización del *Megathyrus maximus***

Munari *et al.*, (2017) recomendaron aplicar fertilización nitrogenada en pasto Guinea (*Megathyrus maximus*) cv. Mombasa con el objetivo de acelerar el crecimiento, la producción de hojas y por ende la expansión de yemas, dado que entre un 50 y 70% del nitrógeno total en hojas se asocia a cloroplastos, hecho que explica que exista un incremento lineal en las determinaciones del medidor de clorofila a medida que se incrementan las dosis de nitrógeno que recibe el cultivo.

Según Sánchez *et al.*, (2019) la fertilización química es una alternativa para mejorar el crecimiento y rendimiento de pasto Guinea; no obstante, se requiere utilizar un mayor número de ambientes y épocas del año para validar los resultados obtenidos en diferentes regiones ganaderas.

El efecto de aplicar cada vez dosis mayores de nitrógeno incrementa en forma creciente el rendimiento del pasto hasta una dosis específica, luego los incrementos son decrecientes a niveles mayores pudiéndose llegarse a no obtener respuesta con aplicaciones excesivas (Díaz y Manzanares, 2006). El contenido de proteína cruda se ha incrementado menos, acentuadamente con las dosis menores, sin embargo a niveles intermedios de aplicación aumenta marcadamente, para luego con aplicaciones mayores, llega a estabilizarse, esto es cierto cuando los pastos se cortan tiernos, pues conforme avanza la edad desaparece este efecto benéfico de la fertilización nitrogenada.

La fertilización de este gramínea se encuentra entre los componentes de mayor importancia,

## **Fertilization of *Megathyrus maximus***

Munari *et al.*, (2017) recommended applying nitrogen fertilization in Guinea grass (*Megathyrus maximus*) cv. Mombasa with the aim of accelerating growth, leaf production and therefore bud expansion, given that between 50 and 70% of the total nitrogen in leaves is associated with chloroplasts, a fact that explains why there is a linear increase in the determinations of the chlorophyll meter as the doses of nitrogen received by the crop increase.

According to Sánchez *et al.*, (2019) chemical fertilization is an alternative to improve the growth and yield of Guinea grass; however, it is required to use a greater number of environments and times of the year to validate the results obtained in different livestock regions.

The effect of applying increasingly higher doses of nitrogen increases grass yield up to a specific dose, then the increases are decreasing at higher levels, and it is possible to get no response with excessive applications (Díaz and Manzanares, 2006). The crude protein content has increased less, accentuated with lower doses, however at intermediate levels of application it increases markedly, and then with higher applications, it stabilizes, this is true when the grasses are cut tender, because as the Age disappears this beneficial effect of nitrogen fertilization.

para que esta planta exprese sus potencialidades. Su empleo resulta uno de los aspectos que se debe tener en cuenta, pues de esto dependerá el crecimiento y calidad del pasto.

## Consideraciones Generales.

Los modelos estadísticos matemáticos resultan una alternativa para describir el comportamiento de la semilla del *Megathyrus maximus*, sin embargo en la literatura científica son escasos los estudios que tratan el tema.

- Las especies de pastos *Megathyrus maximus* son una de las gramíneas más distribuidas alrededor del mundo y constituyen un pasto con características nutricionales para su empleo en la alimentación animal.
- La producción de semilla del *Megathyrus maximus* es mayor en la época de seca y sus rendimientos aumentan en suelos húmedos con fertilidad de moderada a alta.

The fertilization of this grass is among the most important components for this plant to express its potential. Its use is one of the aspects that must be taken into account, since the growth and quality of the grass will depend on this.

## General considerations.

Mathematical statistical models are an alternative to describe the behavior of the *Megathyrus maximus* seed, however in the scientific literature there are few studies dealing with the subject.

- The grass species *Megathyrus maximus* are one of the most widely distributed grasses around the world and constitute a grass with nutritional characteristics for use in animal feed.
- *Megathyrus maximus* seed production is higher in the dry season and its yields increase in moist soils with moderate to high fertility.

## Bibliografía / References

1. Aduriz, A., 2012. A "Semantic" View of Scientific Models for Science. Science & Education
2. Alves, S.J., de Moraes, A., Weber, M. y Sandini, I., 2000. Espécies forrageiras recomendadas para produção animal. En: importancia económica das espécies forrageiras na produção animal. Disponible en: <http://www.fundepecpr.org.br>
3. Anhalt, C., Staats, S., Cortez, R., y Civil, M., (2018). Mathematical modeling and culturally relevant pedagogy. In Y. J. Dori, In Cognition, metacognition, and culture in STEM education (pp. 307-330). Cham: Switzerland: Springer.
4. Anon., 2007. Panicum maximum cv. Mombaça. Disponible en: <http://www.sementesboigordo.com.br/produtos.php?id=5>
5. Avellaneda, C., Cabezas, J. F., Quintana, G., Luna, R., Montañez, O., Espinoza, I., Zambrano, S., Romero, D., Vanegas, J., y Pinargote, E., (2008). Comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de Brachiaria en diferentes edades de cosecha. Ciencia y Tecnología, 1(2), 87-94. <https://doi.org/10.18779/cyt.v1i2.27>.
6. Bernal, J., Espinoza, J 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. Potash and Phosphate Institute of Canada. 94 p.

7. Camarena G. P. ~~atricia~~, (2008). Reporte de investigación titulado: La matemática en el contexto de las ciencias: las competencias profesionales. ESIME-IPN, México.
8. Cano, C. C. P., Cecato, U., Canto, M. W. do, Santos, G. T., Galbeiro, S., Martins, E. N., y Távora, R., (2004). Valor nutritivo do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) pastejado em diferentes alturas. Revista Brasileira de Zootecnia, 33(6, supl. 2), 1959-1968. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982004000800006>.
9. Castro, I y Hétier J.M. 2015. Modelización y experimentación agronómica Tierras llaneras de Venezuela: tierras de buena esperanza. [libro] Mérida: Consejo de Publicaciones de la Universidad de los Andes, [En Línea] En <<https://numerisud.ird.fr/documents-et-films/publications/Modelizacion-y-experimentacion-agronomica>> [recuperado 15 de marzo de 2018].
10. Chacín, F. (1998). *Análisis de regresión y superficie de respuesta*. Cásares. R. Segovia, A. Gaskin. D. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Pp.111.
11. Crespo, G. 1999. Significado de la hojarasca en el reciclaje de nutrientes en los pastizales permanentes. *Rev. Cubana Ciencia Agrícola*. 33-349p
12. Cruz, C. ~~ipriano~~ 2010. La enseñanza de la modelación matemática en ingeniería. *Rev. Fac. Ing. UCV* v.25 n.3 Caracas sep. Universidad Central de Venezuela / Universidad Metropolitana.
13. Cuevas, R. (2014). Matemáticas para la toma de decisiones. Recuperado el 2 de Noviembre de 2017, de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r76474.pdf>
14. Del Pozo, P. P. y Herrera, R. S. (1995). Modelado del crecimiento del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). Modelo multiplicativo con control de la curva de crecimiento y los efectos ambientales. *Revista de Pastos y Forrajes* 18(2):171-177.
15. Del Pozo, P.P. 1998. Análisis del crecimiento del pasto estrella (*C. nlemfuensis*) bajo condiciones de corte y pastoreo. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias agrícolas. La Habana, Cuba.
16. Díaz, D. (2007). Evaluación agronómica de nuevas variedades *Pennisetum purpureum* en condiciones de sequía el Valle del Cauto. Tesis en opción al Título Académico de Máster en Pastos y Forrajes. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", 84 p.
17. Díaz, J.I. y Manzanares E. A. 2006. Producción de biomasa de "Panicum maximum" cv Mombaza a tres frecuencias de corte y dos condiciones ambientales (con y sin árboles), en la Hacienda "Las Mercedes", UNA, Managua, Nicaragua. Tesis. Ing. Zootecnista. Managua, Nicaragua.
18. Domínguez, J., Rodríguez, F.A., Núñez, R., Ramírez, R., Ortega, J.A. y Ruiz, A., (2013). Adjustment of nonlinear models and estimation of growth parameters in tropicane cattle. *Agrociencias*, 47(1), p. 25-34.
19. Erazo, M.V. 2014. Comportamiento agronómico y valor nutricional del pasto Tanzania (*Panicum maximum* cv.) Con abonos orgánicos en diferentes estados de madurez en el campo experimental la playita UTC – la Mana. Tesis presentada previa a la obtención del título de: Ingeniero Agrónomo la Maná –Cotopaxi.
20. Espinoza, I., Avellaneda, J., Sánchez, A., Montenegro, L., Quintana, G., Zambrano, D. 2017. Characterization of nutritive value and aerobic stability of passion fruit (*Passiflora edulis*) rind silage. *J. Anim. Sci.* Vol. 91, E-Suppl. 2/*J. DairySci.* Vol. 96, E-Suppl. 1.



21. Febles, G. y Padilla, C. 1970. The effect of Rhizobium melilotii, scarification and temperature in breaking dormancy in common guinea grass seed (*Panicum maximum* Jacq.). *Cuban J. Agric. Sci.* 4:71
22. FEBLES, G. 1981. Estudios sobre la calidad y la producción en hierba de guinea común. *Panicum maximum* Jacq. Tesis en opción al grado de C.Dr.C. ICA-ISCAH. La Habana, Cuba
23. Febles, G., Pérez, J. y Padilla, C. 1982. Effect of N levels and time of application on common guinea grass (*Panicum maximum*) seed production. *Cuban J. Agric. Sci.* 16:323
24. Febles, G.; Ruiz, T.E. y Crespo, G. 1993. Producción de semillas de pastos de leguminosas tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 27:121.
25. Febles, G., Ruiz, T.E., Padilla, C., Aguiar, M. y Guisado, I. 1996. Seed production of *Panicum maximum* Jacq. Varieties in Cuba. *Cuban J. Agric. Sci.* 30:83
26. Febles, G., Ruiz, T.E., Padilla, C., Pérez, J. Aguiar, M. y Guizado, I. 1997a. Phosphorus and potassium for guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Likoni seed production. *Cuban J. Agric. Sci.* 31:123
27. Febles, G., Ruiz, T.E., Padilla, C., Pérez, J. Aguiar, M. y Guizado, I. 1997b. Effect of plant density and mineral nutrition on seed production of guinea grass cv. Common (*Panicum maximum* Jacq.). *Cuban J. Agric. Sci.* 31:131
28. FERGUSON, J.E. 1979. Sistemas de producción de semillas para especies de pastos en América Latina Tropical. En: Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. (Eds. L.E. Tergas y P.A. Sánchez). CIAT. p. 385
29. Ferrando, I., Albarracín, Ll., Gallart, C., García, Ll., Gorgorió, N., 2017. Analisis de modelos matemáticos producidos durante la resolución de problemas de Fermi. *Bolema: Boletim de Educação Matemática.* 31(57), pp 220-242.
30. Fortes, D. (2012). Comportamiento morfofisiológico de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. 102 p.
31. García, C., Martínez, R., Tuero, R., Cruz, A., Romero, A., Estanquero, L. (2009). Evaluación de *Panicum máximum* vc. Mombaza y modelación de indicadores agronómicos durante tres años en un suelo ferralítico rojo típico de la provincia La Habana. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola,* 43(2), 297-302.
32. Gilbert, J., y Justi, R. (2016). Modellingbased teaching in science education (Vol. 9). Switzerland: Springer international publishing Switzerland.
33. GIORDANO, F., WEIR, M., FOX, W. A first Course in Mathematical Modelling. Brooks/Cole Publishing Company. 1997.
34. Grant, M. (2012). Modeling In Math Learning. In L. Perlovsky, Mathematical Models/Theories of Learning. In: Seel N.M. (eds) (pp. 2113- 2115). Boston: Encyclopedia of the Sciences of Learning. Springer.
35. EVENARI, M. 1984. *Botanical Review.* 50:143
36. Hare, M. D., Phengphet S., Songsiri T., Sutin, N. (2015). Effect of nitrogen on yield and quality of *Panicum maximum* cv. Mombasa and Tanzania in Northeast Thailand. *Tropical Grasslands,* 3, 27-33. DOI: 10.17138/TGFT (3)27-33.
37. Hernández, M., y Pereira, E. (2011). Pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Revista Pastos y Forrajes,* 4(2), 3-4.

38. Hernández D.; Carballo M y Reyes F. Reflexiones sobre el uso de los pastos en la producción sostenible de leche y carne de res en el trópico, *Revista Pastos y Forrajes*. 2000. 23 (4): 269-284.
39. Hestenes, D. (2010). Modeling theory for math and science education. In R. Lesh, P. Galbraith, C. Haines, & A. Hurford, *Modeling students' mathematical modeling competencies* (pp. 13- 41). Boston: Springer Science+ Business Media.
40. Hooker, C. (1994). *Value and system: notes toward the definition of agri-culture*. *Journal of Agriculture and Environmental Ethics*, 7, 1-84.
41. HUMPHREYS, L.R. y RIVEROS, F. 1986. Seed production of tropical pastures. Roma. FAO
42. Jank, L. 1995. Melloramento de variedade de *Panicum maximum*. Simposio sobre Manejada Pastagen, Piracicaba. Anais. Piracaba: FEAIQ. p. 21
43. Jay, O. (2012). Metodología para la comparación de tratamientos en modelos de regresión no lineal aplicados a procesos biológicos. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal.
44. Joaquín, B. M; Moreno, M. A.; Joaquín, S.; Hernández, A; Pérez, J.; Gómez, A. 2010. Rendimiento y calidad de semilla de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Tanzania usando la fitohormona esterooidal cidef-4. *Rev Mex Cienc Pecu*, 1(3): 237-249.
45. Jones, J. W; Hoogenboom, G; Porter, C. H; Boote, K. J; Batchelor, W D; Hunt, L. A; Wilkens, P W; Singh, U; Gusman, A. J. y Ritchie, J. T. 2003. The DSSAT Cropping System Model. *Eur. J. Agron*, 18. p.235.
46. Jones, W., Makowsky, D., y Wallach, D. (2006). *Working with Dynamic Crop Models: evaluation, analysis, parameterization and applications*. Amsterdam, Holanda: Elsevier
47. Lara, A. 2009. Influencia de tres dosis de fertilizante nitrogenado y tres momentos de cortar el forraje en la producción de semillas de *Panicum maximum* vc. Mombaza y Tanzania. Tesis presentada en opción al grado de Máster en Producción Animal para el Trópico.
48. Lattanzi, F. A., Schnyder, H., y Ornton, B. (2004). Defoliation effects on carbon and nitrogen substrate import and tissue-bound efflux in leaf growth zones of grasses. *Plant Cell Environmental*, 27(3), 347-356. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2004.01147.x>
49. Ledesma, R. 2006. Desarrollo de sistemas ganaderos: una alternativa de manejo en ecosistemas degradados del Chaco semiárido. Tesis de Maestría. Argentina: Univ. Nacional de Santiago del Estero. 134 p.
50. LEHRER, R.; SCHAUBLE, L. A developmental approach for supporting the epistemology of modelling. IN W. BLUM, P. L. GALBRAITH, H.-W. HENN; M. NISS (Org.), *Modelling and applications in mathematics education: The 14th ICMI study* (New ICMI Study Series, Vol 10. New York: Springer, 2007. p. 153-159.
51. León-Velarde, C., y Barrera, V. 2003. Métodos biomatemáticos para el análisis de sistemas agropecuarios en el Ecuador. Quito, Ecuador: INIAP y CIP.
52. Lesh, R., y Doerr, H. (2003). *Beyond constructivism: Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers
53. López, J.L. (2016). Modelación y simulación del rendimiento del pasto estrella (*C. nlemfuensis*) bajo diferentes condiciones de manejo y escenarios climáticos. Tesis presentada en opción al título de Máster en Biomatemática, Universidad Agraria de La Habana.
54. Lobo, M. Y Diaz, O. 2001. Manual de Agrostología. EUNED, San José, Costa Rica. 176 p. Machado, R. Comportamiento de 19 accesiones de *Panicum máximum* Jacq. Bajo condiciones

- de pastoreo en un suelo de mediana fertilidad. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “indio Hatuey”, Universidad de Matanzas. Cuba. p. 204, 207.
55. Martínez, R. O., Tuero, R., Torres, Verena y Herrera. R. S. (2010). Modelos de acumulación de biomasa y calidad en las variedades de hierba elefante, Cuba CT-169, OM-22 y king grass durante la estación lluviosa en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 44: 189.
56. Mejías, A. 2018. Modelación matemática para describir el crecimiento y producción de biomasa de la especie *Pennisetum purpureum*. Ciencia Universitaria. Vol 16 No1. (enero-diciembre).2018
57. MEN (Ministerio de Educación Nacional). *Estándares básicos de competencias*. Bogotá: Magisterio, 2006.
58. Milera, M. C., Alonso O., Machado H. C.y Machado R. L. 2017. *Megathyrus maximus*. Resultados científicos y potencialidades ante el cambio climático en el trópico Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 21, núm. 3, 2017 Universidad de Colima, México.
59. Mojica, R.J.E., R.E. Castro, Z.J. Silva, H.C. Hanzel, y Q.L. García. 2013. Producción y calidad composicional de la leche en ganaderías doble propósito del departamento del Cesar. CORPOICA, Cesar, COL. doi:10.21930/978-958-740-164-6.
60. Müller, M.S., Fancelli, A.L., Dourado-Neto, D., García, A. y Ovejero, R.F. 2002. Produtividade do Panicum máximo cv. Mombaça irrigado, sobpastejorotacionado. *Scientia Agrícola* 59:427.
61. Munari, E. C., Pietroski, M., De Mello, P. R., Silva, C. C. N., Caione, G. (2017). Effect of nitrogen fertilization on productivity and quality of Mombasa forage (*Megathyrus maximus* cv. Mombasa). *Acta agronómica*, 66(1), 42-48.
62. Muthuri, C. (2009). Mathematical Models. In K. C. Muir-Leresche, Graduate Environmental and Agricultural Research (GEAR): A Guide to Effective and Relevant Graduate Research in Africa (Second ed., pp. 231-341). Africa: ReserarchGate. doi:10.13140/2.1.2005.0569.
63. Nuñez J. 2017. Perfil alimentario y plan de pastoreo para la producción lechera con pasturas *panicum máximo Jacq*. Tesis de Maestría. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 112 p.
64. Padilla, C. y Febles, G. 1980. Cutting effect during the dry season and nitrogen fertilizer distribution on seed production of guinea grass (*Panicum maximum Jacq.*). *Cuban J. Agric. Sci*. 14:309
65. Padilla, C. y Flebes, G. 2003. Espartillo (*Sporobolus indicus*, L. Br.) Contribución al estudio de la biología, control y efectos en la degradación de los pastizales. II Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. La Habana, Cuba.
66. Patiño P.R.M, Gómez S.R, Navarro M.O.A. 2018. Calidad nutricional de Mombasa y Tanzania (*Megathyrus maximus*, Jacq.) manejados a diferentes frecuencias y alturas de corte en Sucre, Colombia. *Rev. CES Med. Zootec*. Vol 13 (1): 17-30
67. PEREZ, A.; MATIAS, C. Y REYES, ISABEL. 1984. Pastos y Forrajes. 7:203
68. PEREZ, A.; MATIAS, C. Y REYES, ISABEL. 1987. Pastos y Forrajes. 10:141
69. Pita, p. 2010. La importancia de la ganadería. Consultado en línea el 1 de enero del 2020. Disponible en: [www.dspace.espol.edu.ec/.../9.%20CAPÍTULO%201%20IMPORTANCIA.html](http://www.dspace.espol.edu.ec/.../9.%20CAPÍTULO%201%20IMPORTANCIA.html)
70. Ramos, A; Sánchez, P; Ferrer, J. M; Barquin, J; Linares P. 2010. MODELOS MATEMÁTICOS DE OPTIMIZACIÓN. [[http://www.doi.icaupcomillas.es/intro\\_simio.htm](http://www.doi.icaupcomillas.es/intro_simio.htm)] .

71. Ramos, E. 2021. Análisis de modelos matemáticos aplicables al comportamiento de biopolímeros con énfasis en quitosano durante el proceso de coagulación/floculación de sólidos suspendidos en agua. Trabajo de titulación modalidad revisión bibliográfica previo a la obtención del Título de Químico. Universidad Central Del Ecuador. Facultad De Ciencias Químicas, Quito.
72. Rodríguez, J., Gutiérrez, E., y Rodríguez, H. (2010). *Dinámica de sistemas de pastoreo*. México: Editorial Trillas.
73. Rodríguez, L., Torres, V., Martínez, R.O., Jay, O., Noda, C. y Herrera, M. (2011). Modelos para estimar la dinámica de crecimiento de (*Pennisetum purpureum*) vc. Cuba CT-169. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 45:349.
74. Rodríguez, L. (2015). *Modelación y simulación de la producción de biomasa de Pennisetum Purpureum Schum vc. king grass y su aplicación en la alimentación animal*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias, Instituto de Ciencia Animal.
75. Rodríguez, L. Larduet, R., Martínez, R.O., Torres, V., Herrera, M., Medina, Y. y Noda, C. (2013). Modelación de la dinámica de acumulación de biomasa en *Pennisetum purpureum* cv. King grass en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 47:119
76. Sánchez Hernández, M. Á., Valenzuela Haro, Y. E., Morales Terán, G., Rivas Jacobo, M. A., Fraire Cordero, S., y Hernández Sánchez, S. (2019). Crecimiento de pasto Guinea (*Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. Simon y S.W.L. Jacobs) en respuesta a fertilización química en clima cálido húmedo. *Agroproductividad*. 12(8), 2018.
77. Thornley, J. y France, J. (2007). *Mathematical Models in Agriculture. Quantitative Methods for the Plant. Animal and Ecological sciences. (Second Edition ed.)*. Trowbridge: Cromwell Press.
78. Tobar C. 2016. Variables morfológicas y de composición nutricional en dos cultivares del pasto *Megathyrus maximus*, Jacq sometido a una altura y diferentes frecuencias de corte e intensidad lumínica en condiciones de sabanas de Sucre, Colombia. Tesis de Grado. Universidad de Sucre. Recuperado el 21 de Marzo del 2020, de <https://repositorio.unisucre.edu.co/jspui/bitstream/001/565/1/T633.202%20T736.pdf>.
79. Torres, V. 1995. Contribución a la modelación de un área de pastoreo. Seminario Científico Internacional XXX Aniversario del Instituto de Ciencia Animal, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba.
80. Torres, V., Cobo, R., 2015. La Matemática Aplicada en las investigaciones del Instituto de Ciencia Animal, cincuenta años de experiencia. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(2), pp 117-125.
81. Torres, V., Lazo, J., Ruiz, T.E. y Noda, A. 1999. Empleo de la modelación matemática en el estudio del pasto *C. nlemfuensis*. *Rev. Cubana de Cienc. Agríc.* 33:363.
82. Torres, V., y Ortiz, J. 2005. Aplicaciones de la modelación y simulación en la producción y alimentación de animales de granja. *Revista Cubana Cienc. Agríc.*, 39:397p.
83. Valle, C.B., Euclides, V.P.B., Macedo, M.C.M., 2001. Selecting new *Brachiaria* for Brazilian pasture. En: International Grassland Congress, 19, São Pedro. Piracicaba, FEALQ (CDRom).
84. Vázquez, Y., 2012. Modelación Estadístico-Matemática con variables mixtas para el estudio de la sostenibilidad social en una empresa ganadera bovina. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias veterinarias, Universidad Agraria de la Habana, San José de las Lajas, Cuba. 99 p.

85. Villareal. M. (1998). Alternativas forrajeras para el mejoramiento de los sistemas de producción ganadera. M. Sc. Alajuela, Costa Rica. ITCR.