



ISSN 2448-8003

DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LA CARGA PECUARIA CON PASTOREO EXTENSIVO

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL TO DETERMINE THE LIVESTOCK LOAD WITH EXTENSIVE GRAZING

Jearvavi Vázquez Moreno¹, Horacio Bautista Santos², Fabiola Sánchez Galván²

¹ División de posgrado e investigación, Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, Veracruz, México.

² División de postgrado e investigación, Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz, México

Recibido: 2018-10-30

Aceptado: 2018-12-03

Autor corresponsal: **Edgar Jearvavi Vázquez Moreno** *jearvavi@gmail.com*

DOI: 10.63728/riisds.v4i1.263

Resumen: Veracruz es uno de los principales estados productores de ganado bovino del país, dedicando más de la mitad su extensión territorial a actividades relacionadas directa e indirectamente a la ganadería bovina, en este trabajo se presenta la metodología utilizada para la elaboración de un modelo matemático que permita a los pequeños productores pecuarios utilizar de manera adecuada los recursos forrajeros con los que cuentan, para evitar la sobre-expLOTACIÓN de los potreros o la sub-expLOTACIÓN de los mismos, y de esta manera reducir la pérdida de productividad de los potreros al ser sobre pastoreados o el costo de oportunidad que se genera al no aprovecharlos adecuadamente.

Palabras clave: Modelo matemático, Bovino, Forraje, sustentable.

Abstract: Veracruz is one of the main cattle producing states of the country, dedicating more than half its territorial extension to activities directly and indirectly related to cattle, in this work the methodology used for the elaboration of a mathematical model is presented. that allows small livestock producers to adequately use the forage resources they have, to avoid overexploitation of the paddocks or their under-exploitation, and thus reduce the loss of productivity of the paddocks Being over grazed or the opportunity cost that is generated by not taking advantage of them properly.

Key words: Mathematical model, Bovine, Forage, sustainable.

Introducción

La superficie mundial de tierras utilizables para el pastoreo está cerca de su límite biológico de producción bajo las condiciones climáticas y de fertilidad de los suelos predominantes, esta condición pone bajo presión a los sistemas pastoralistas. No es posible un aumento de la superficie disponible para el pastoreo extensivo debido a la competencia de la agricultura y los biocombustibles, a los asentamientos humanos y a los programas de conservación de la naturaleza (FAO, 2012).

Se estima que la ganadería se practica en cerca de 110 millones de hectáreas, que representan aproximadamente el 58% de la superficie nacional. Los sistemas de producción existentes van desde los más altamente tecnificados e integrados hasta los de traspatio (Román, Aguilera, & Patraca, 2012).

En Veracruz más del 50% de la superficie del estado es utilizada para actividades que se relacionan directa e indirectamente con los sistemas de producción pecuarios con animales rumiantes. De los cuales los de mayor importancia son los bovinos productores de carne, de doble propósito y de leche (Román, Aguilera, & Patraca, 2012).

La ganadería tradicional de doble propósito se caracteriza por producir carne y leche en áreas tropicales, combinando el ordeño con el amamantamiento de los becerros hasta el destete y generalmente requiere de bajos insumos con escaso uso de tecnología. Este sistema también se puede encontrar en regiones de clima árido, semiárido y templado (RADIOMÁS, 2015) & (Báez, 2000).

La razón por la cual se realizó el modelo matemático que aquí se presenta para poder reducir el costo de oportunidad, el cual es el valor que se deja de ganar por haber descartado la mejor alternativa de inversión durante la producción pecuaria, situación que se presenta a causa del ignorancia de los niveles adecuados de producción que son posibles alcanzar con la combinación de factores de cada productor, para poder invertir los recursos de manera que se obtenga la mayor ganancia y así evitar el desaprovechamiento de los recursos .

La sustentabilidad es un tema de gran relevancia en la actualidad ya que el uso desmedido de los recursos ha provocado el deterioro del medio ambiente, esto también sucede en el sector pecuario ya que la sobreexplotación de los potreros trae con sigo la perdida de la productividad a mediano y largo plazo, esto es debido en parte a que los productores desconocen con exactitud la carga animal que pueden sostener en sus potreros sin incurrir en una sobreexplotación ya que las estimaciones las hacen por lo regular de manera empírica.

El uso de un modelo matemático que les permita conocer la superficie necesaria para el pastoreo de cierta cantidad de bovinos o un modelo que permita determinar el número de bovinos apropiado para determinado potrero con características específicas conocidas ayudaría a los productores a tomar mejores decisiones acerca del uso y aprovechamiento sustentable de sus potreros, así como a evaluar el uso actual que le dan a los mismos.

La importancia del desarrollo de este modelo matemático, radica en la concientización sobre las condiciones socioeconómicas en que viven los productores ganaderos, los cuales no disponen de las condiciones necesarias, ni de los recursos suficientes para la alimentación de los bovinos doble propósito, por lo tanto es indispensable optimizar la cantidad de forraje que disponen, con el cual se pretende proveer a los rumiantes de los nutrientes necesarios para su desarrollo que permita continuar con la producción de leche y carne, mismos que proporcionarán a los productores del recurso económico para cubrir las necesidades básicas de sus familias.

Objetivos

General: Diseñar un modelo matemático basado en forrajes locales para optimizar procesos productivos en un sistema de producción de bovinos local, determinar las variables relacionadas a la operación de los procesos de alimentación de bovinos, desarrollar un modelo que apoye al cálculo del número de U.A.E. apropiado para un manejo sustentable de los potreros.

Estado del arte

Los modelos y las herramientas estadístico-matemáticas de avanzada (Rodríguez E., 2001) así como su uso e interpretación adecuada permite la toma de decisiones óptimas, aumento en la eficiencia y logro de desempeños superiores en diferentes áreas y muy en especial en el sector agrario, cuya aplicación favorece el desarrollo de los sistemas productivos (Rodríguez & Bermúdez, 1995).

Los modelos matemáticos aplicados al campo zootécnico, constituyen herramientas de análisis que contribuyen a entender la dinámica de los sistemas, a partir de información estática.

(Arango, Rivera, & Granobles, 2000) Presentaron un artículo titulado “elaboración y validación de modelos de estimación de producción lechera en sistemas especializados” el propósito del estudio realizado en dicho artículo fue diseñar y validar una propuesta metodológica sencilla, confiable, y poco exigente en información, para estimar producción lechera en sistemas de lechería especializada en pastoreo intensivo suplementado, con raza holstein, a partir de información puntual. Se compararon modelos polinómicos de segundo hasta sexto orden y un modelo de gamma incompleto (Modelo de Wood), utilizando una base de datos conformada por 33.339 registros, correspondientes a 120 lactancias, de la hacienda Tesorito, propiedad de la Universidad de Caldas. Los resultados indicaron que la producción

de leche en los sistemas regionales puede ser estimada con un alto nivel de confianza, utilizando modelos de regresión polinómica de quinto orden

Entre la literatura consultada se encuentran varios casos de aplicación de modelos matemáticos al sector agropecuario, uno de ellos desarrollado por (La O Arias, y otros, 2013) en el cual se estudiaron las curvas de crecimiento en cabritos criollos cubanos, ajustadas a los modelos logístico y Gompertz, mediante la aplicación del cálculo de elasticidad y sus interpretaciones biológicas. A partir de los modelos se estimó el peso adulto ajustado y el potencial, la mayor tasa de crecimiento y la edad a la que se alcanza.

(Nieva, 2009) Realizó una tesis de grado titulada “Modelos matemáticos en la evaluación del crecimiento predestete de borregos black belly” con el fin de obtener los valores de predicción con diferentes modelos matemáticos (Logistic y Gompertz) que mejor se ajustaran y describiesen la curva de crecimiento predestete en crías Black Belly, Los modelos matemáticos usados mostraron predicciones en el comportamiento productivo de futuros reemplazos y prospectos a sementales.

(Vázquez, Guerra, & Sánchez, 2011) Presentaron un artículo de investigación que tuvo como objetivo contribuir mediante la Modelación Estadístico- Matemática al análisis de la sostenibilidad socioeconómica en el sector pecuario del municipio de San José de las Lajas. Para este estudio se recolectó información en el período 2006 al 2010 sobre las diferentes variables que representan las dimensiones sociales y económicas de la sostenibilidad en Empresa Valle del Perú y se obtienen diferentes índices socioeconómicos para cada uno de estos años. Ellos comentan que el modelo que mejor se ajustó a los resultados de los diferentes índices fue el de tendencia cuadrática, al cual se le calculó la tasa de sostenibilidad relativa. Del mismo modo resaltan que: desde el punto de vista práctico su investigación es una herramienta muy importante para la toma de decisiones por los actores sociales y locales en el sector pecuario.

Métodos

Operacionalización de las variables: Lo primero que se realizó fue la recopilación, lectura y análisis de información general referente al tema que pudiese ser de utilidad para la elaboración del modelo matemático que se propondrá, en los apartados siguientes se presentan las variables que se determinó debían ser incluidas en el modelo.

Cantidad de forraje: Como primer paso para la formulación del modelo esta determinación de la cantidad de forraje que se produce en una hectárea, este será un factor a considerar en el modelo, dicha información deberá ser proporcionando por el productor basándose en datos históricos y bromatológicos del forraje específico que se utilizara en el predio sujeto de estudio.

Al revisar la literatura se destaca que el simple hecho de estimar la producción de forraje no es suficiente, debido al contenido de agua en los forrajes, el cual diluye el valor nutritivo por unidad de peso de los forrajes y aumenta el costo neto de los forrajes necesarios para sustentar a los animales por eso es necesaria la determinación del contenido de agua en los alimentos es esencial para los nutricionistas y el ganadero.

Los alimentos contienen agua en diversas formas. Las partículas coloidales en las paredes y constituyentes celulares, tales como proteínas, almidones y celulosa, pueden absorber agua y retener agua fuertemente. Otras veces, se encuentra como agua de hidratación en

combinación con carbohidratos, polisacáridos y diversas sales (De la Roza, Martínez, & Argamentería, 2002).

Por ello es esencial que para el establecimiento de la producción neta de forraje por hectárea sea considerada la materia seca que se produce en lugar de la cantidad de forraje fresco producida, para determinar la cantidad de materia seca por forraje deberán recurrirse a datos bromatológicos específicos del forraje en el lugar de aplicación ya que estos varían según el clima, altura, lluvias en el año, condiciones del terreno, tipo de tierra entre otras cosas.

De esta manera se llega a la conclusión que la primera variable a considerar es la materia seca producida por hectárea en el terreno sujeto de estudio en un año y se representaría de la siguiente manera: $\left(\frac{Tn.P.P.}{Ha} \right)$

Porcentaje de cobertura de malezas: La siguiente variable a considerar es la cobertura forrajera indeseable, esta se refiere a el porcentaje de la superficie de la pradera que está cubierto con malezas o pastos no aprovechables para al pastoreo, así como también las áreas en las cuales se producen encaramamientos y aquellas en las que el suelo por alguna razón no es fértil o no produce de manera adecuada.

Este porcentaje deberá restarse al 100% que se tiene de superficie para de este modo poder calcular la producción forrajera real. Su representación en el modelo sería la siguiente: $(1 - \% C.M.)$

Porcentaje de desperdicios: La siguiente variable a considerar es el desperdicio de la producción del forraje, esta es determinante para considerar la cantidad real de disponibilidad del forraje a partir del cual se realizarán los cálculos, en esta variable se debe considerar el porcentaje de la superficie total que se pretende tener disponible que ha de ser ocupado para instalaciones, almacenes, corrales, barbecho, el terreno que se considere no ser fértil o no utilizable para la producción de forrajes y el desperdicio generado por los animales que seleccionan que forraje consumir y que maltratan al caminar o recostarse sobre él durante su recorrido y estancia en las praderas, se considera según Vidal (2006) que al aprovechamiento de forraje por bovinos es de aproximadamente el 70% lo que da lugar a considerar un 30% de desperdicio

Del mismo modo en el modelo quedaría representado de la siguiente manera ya considerando el desperdicio restado de la producción total: $(1 - \% Desp.)$

Porcentaje de pérdida de productividad del pastizal: La siguiente variable a considerar es la pérdida de productividad del pastizal por periodo productivo, como es sabido la tierra pierde las propiedades y los nutrientes que se necesitan para la adecuada producción de forrajes con el paso del tiempo si no se deja reposar para recuperar sus características de manera natural o si no se abona y suplementa para asegurar su productividad, con el paso del tiempo la pérdida de dicha característica en los pastizales es cada vez mayor, por ello se considera esta variable para la elaboración del modelo, en la suposición que el ganadero o dueño del predio sujeto de estudio cuenta con registros históricos en los cuales se pueden observar diferencias a la baja en la producción de pastos y forrajes en el predio con los cuales se puede calcular o estimar que porcentaje de productividad se pierde por cada periodo productivo consecutivo que transcurre sin dejar a la tierra tener el descanso adecuado.

Este porcentaje de pérdida de productividad afecta directamente a la cantidad de forraje que se puede producir, disminuyéndola en cierto porcentaje, esto dependiendo del número de

periodos productivos consecutivos en que sin darle el descanso adecuado la formulación correspondiente a esta variable quedaría de la siguiente manera: $(1 - \% P.P.P)^n$

Unidad animal equivalente (U.A.E): La siguiente variable a considerar es el número de bovinos que se desea sostener en el área que se pretende destinar para este fin, debido al gran número de variantes en cuanto al ganado vacuno en canto a peso, genero, etapa productiva, preñes, tipo, ganancia de peso diaria deseada, entre otras cosas es necesario utilizar una unidad de medición general que ayude a cuantificar de manera efectiva la carga animal del predio sujeto de estudio, dicha unidad es la unidad animal equivalente (U.A.E.) que fue establecida por Cocimano, Lange, & Menvielle, (1975), la representacion de esta variable en el modelo quedaria de la siguiente manera: ***U.A.E***

Unidad animal equivalente suplementada (U.A.E. SUP.): La suplementación es otra variable de gran importancia debido a que con frecuencia los productores incluyen en la dietas de los animales algún suplemento que van desde lo más básico como la suplementación con sal, hasta opciones más avanzadas como bloques nutricionales, esto contribuye a la menor utilización de forrajes y a obtener una mayor productividad. Para considerar esta variable se tomaron en cuenta algunos de los suplementos que son usados comúnmente y se consideró la cantidad de los mismos que es necesaria para alimentar una unidad animal equivalente, teniendo esto la representación de esta variable en el modelo queda de la siguiente forma.: ***U.A.E. Sup***

Número de hectáreas: La superficie a utilizar es otra variable que influye directamente en el modelo ya que a mayor superficie se puede lograr producir una cantidad mayor de forraje y por lo tanto alimentar más rumiantes, el cálculo de esta variable es uno de los principales objetivos de este proyecto, ya que habrá dos formulaciones matemáticas una que calcule la superficie necesaria valiéndose de las demás variables y otra en la cual se calcule el número de rumiantes que se pueden alimentar y la superficie es uno de las variables involucradas en este cálculo, esta variable queda representada en el modelo de la siguiente manera: **#Ha**

Requerimientos de materia seca de una U.A.E.: Esta variable se refiere a la cantidad de materia seca que consume en promedio una unidad animal equivalente, la cual ayuda a determinar las cantidades necesarias de forraje por todo el hato dependiendo del tipo que sea dicho forraje y de su producción promedio.

Se estima que el consumo en base a materia seca (MS) de una U.A.E. es equivalente a un 3% del peso vivo del animal (Vidal, 2006) que en el caso de una U.A.E. el consumo de materia seca aproximado sería de 13.5 kg de MS por día y de 4.9275 Toneladas por año, Esta variable se representa en el modelo de la siguiente manera: $\frac{Tn.P.P.}{Ha}$

Con esta información es posible formular el modelo matemático que permita determinar la cantidad óptima de U.A.E. que se pueden sostener en cierta cantidad de terreno bajo condiciones específicas de manera sustentable, esto se realizara en los siguientes apartados.

Formulación del modelo para el cálculo de superficie: Al ya estar establecidas la variable dependiente y las variables independientes de este modelo, se establecieron las relaciones que hay entre ellas y el cómo es que las variables independientes influyen en la variable dependiente.

Lo primero que hay que hacer es establecer que es lo que estamos buscando, en este caso la cantidad de UAE que es posible sostener:

$$UAE = ?$$

La manera más sencilla de determinar las UAE que se pueden sostener en un terreno es dividir la producción de materia seca de determinado forraje en predio. Como la producción de materia seca está dada por hectárea se debe multiplicar la producción de materia seca del forraje por hectárea por el número total de hectáreas que se poseen, quedando como formulación inicial la siguiente:

$$UAE = \frac{(\#Ha) \left(\frac{Tn.P.MS.}{Ha} \right)}{\left(\frac{Tn.P.MS.}{UAE} \right)}$$

Así mismo como en el caso del cálculo de la superficie, la producción de materia seca del forraje se ve afectada negativamente por el desperdicio, el porcentaje de cobertura de malezas, la pérdida de productividad y el número de períodos productivos sin descanso que el terreno lleva hasta el momento de la evaluación, por lo tanto deben incluirse en el modelo para que se ajuste más a la realidad, ya que el no considerar esas variables podría arrojar un resultado erróneo, que considere la posibilidad de alimentar una mayor cantidad de UAE, cuando en realidad no se tiene capacidad para ello. El modelo tomando estas consideraciones quedaría representado de la siguiente manera:

$$UAE = \frac{(\#Ha) \left(\frac{Tn.P.MS.}{Ha} \right) (1 - \% Desp.) (1 - \% C.M.) (1 - \% P.P.P)^n}{\left(\frac{Tn.P.MS.}{UAE} \right)}$$

Sin embargo, como ya se había mencionado con anterioridad, los productores con frecuencia complementan la alimentación de sus bovinos con suplementos los cuales tienen equivalencias nutrimientales en UAE, dichas equivalencias pueden ser sumadas a la capacidad que tienen un potrero de sostener a cierta cantidad de UAE para de esta manera tener un resultado más acercado a la realidad. Hay que recordar que el considerar los suplementos como UAE, no quiere decir que cierta cantidad de animales se vayan a alimentar solamente de suplementos, si no que esos suplementos cumplen con los requerimientos alimenticios de cierta cantidad de UAE, considerando esto en la formulación el modelo quedaría de la forma siguiente:

$$UAE = \frac{(\#Ha) \left(\frac{Tn.P.MS.}{Ha} \right) (1 - \% Desp.) (1 - \% C.M.) (1 - \% P.P.P)^n}{\left(\frac{Tn.P.MS.}{UAE} \right)} + UAE Sup.$$

Dónde:

UAE = Número de UAE que se pueden sostener en el potrero

Ha = Cantidad de superficie disponible (en Hectáreas)

Tn.P.MS. /Ha = Toneladas de producción de materia seca de forraje de cierto tipo en una hectárea durante un período de un año

Tn.P.MS. /UAE= Toneladas de producción de materia seca necesarias para satisfacer las necesidades alimenticias de una UAE durante un periodo de un año

UAE SUP. = Número de UAE equivalentes en suplementos

% C.M.= Porcentaje de cobertura de malezas

% Desp. = Porcentaje de desperdicio del forraje por parte del ganado

%P.P.P. = porcentaje de pérdida de productividad del pastizal por periodo productivo

n = Número de periodo productivo consecutivo sin descanso de la pradera

Conclusiones

Con este modelo es posible determinar la cantidad de U.A.E. que es posible sostener en una pradera, considerando un forraje específico con una producción de materia seca anual conocida, el porcentaje de pérdida de productividad del pastizal por periodo productivo, el número de periodos consecutivos sin descanso de producción de forraje, la superficie de la pradera, el porcentaje de cobertura de maleas, la cantidad de suplementos a proporcionar en UAE., los requerimientos nutricionales de materia seca de una UAE. y el porcentaje de desperdicio o no aprovechamiento por parte de los animales o por instalaciones o zonas no aprovechables del terreno, esto servirá de apoyo a los productores locales para el diseño, evaluación y/o rediseño de sus sistemas de producción pecuaria considerando forrajes locales y utilizando de manera adecuada los recursos forrajeros y de terreno con los que cuentan, lográndose así un beneficio económico a mediano y largo plazo gracias a que este modelo ayuda a que la capacidad de la pradera no sea excedida y con ello apoya a la preservación de los recursos forrajeros.

Referencias

Arango, J. P., Rivera, B., & Granobles, J. C. (2000). ELABORACIÓN Y VALIDACION DE MODELOS DE ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN LECHERA EN SISTEMAS ESPECIALIZADOS.

Báez, R. U. (2000). Control y Prevención de Enfermedades en Ganado Bovino de Doble Propósito En Tabasco. INIFAP Produce.

De la Roza, B., Martínez, A., & Argamentería, A. (2002). DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA EN PASTOS Y FORRAJES A PARTIR DE LA TEMPERATURA DE SECADO PARA ANÁLISIS. PASTOS, XXXII (1), 91- 104.

FAO. (2012). Ganadería mundial 2011 – La ganadería en la seguridad alimentaria. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/016/i2373s/i2373s00.pdf>

Faria, J. (1998). Fundamentos para el manejo de pastos en sistemas ganaderos de doble propósito. En C. González, N. Madrid, & E. Soto, Mejora de la ganadería mestiza de doble propósito (págs. 213-232). Maracaibo, Venezuela: Astro Data S.A. Recuperado el 14 de Febrero de 2016, de http://www.avpa.ula.ve/libros_online/GdobleP/pdfs/capitulo12.pdf

La O Arias, M. A., Guevara, F., Fonseca, N., Rodríguez, L., Pinto, R., Gómez, H., . . . Hernández, A. (2013). Aplicación de los modelos logístico y Gompertz al análisis de curvas de peso vivo en cabritos criollos cubanos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola Tomo 47, Número 1.

- Nieva, A. (Julio de 2009). MODELOS MATEMÁTICOS EN LA EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO PREDESTETE DE BORREGOS BLACK BELLY. Veracruz, Veracruz, México.
- RADIOMÁS. (12 de Junio de 2015). Cuidados básicos en una ganadería. Obtenido de Radiomas.mx: <http://www.radiomas.mx/cuidados-basicos-en-una-ganaderia/>
- Rodríguez, E. (2001). La superación del profesor de Matemática en la Universidad de hoy, una experiencia cubana. COMAT'01, Matanzas, Cuba.
- Rodríguez, L., & Bermúdez, T. (1995). Usos y aplicaciones de la simulación en la investigación agropecuaria. Agronomía Colombiana, XII(1), 198-204.
- Román, H., Aguilera, R., & Patraca, A. (Noviembre de 2012). PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE GANADO Y CARNE DE BOVINO EN EL ESTADO DE VERACRUZ. H. Veracruz, Veracruz, Mexico.
- Vázquez, Y., Guerra, C. W., & Sánchez, O. E. (2011). Modelación Estadístico-Matemática para el estudio de la sostenibilidad socioeconómica en el sector agrícola-pecuario del municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 20, No. 4., 69-74.
- Vidal, R. (16 de Marzo de 2006). GESTION DE LA PRODUCCION ANIMAL. Chile.