



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ZOOTÉCNICA

“DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN
MATEMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE CERDOS UPP-ESPOCH”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del título de:
INGENIERO ZOOTECNISTA

AUTOR:

ENRIQUETA DEL ROCIO MEJÍA ARÉVALO

Riobamba – Ecuador

2011

Esta Tesis fue aprobada por el siguiente Tribunal

Ing. M.C. Hugo Estuardo Gavilánez Ramos.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. M.C. Luis Gerardo Flores Mancheno.
DIRECTOR DEL TESIS

Ing. M.C. Manuel Enrique Almeida Guzmán.
ASESOR DE TESIS

Riobamba, 15 de noviembre del 2011

AGRADECIMIENTO

Mi reconocimiento a Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y por su intermedio a la Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Zootécnica; ya que a través de ella he logrado culminar mi esfuerzo, y formarme profesionalmente.

A mis Miembros del Tribunal de Tesis: Ing. M.Cs. Luís Flores M., Director y al Ing. M.Cs. Manuel Almeida g:, Asesor, por sus valiosos aportes para culminar el presente trabajo.

A mi familia, como son mis padres y hermanos por todo ese apoyo incondicional durante mi carrera universitaria, a ellos mil gracias.

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado con todo mi amor a mi hija Ana Lía que ha sido mi fuente de inspiración para cumplir la meta que me propuse como es alcanzar el título de ingeniera Zootecnista.

Enriqueta

RESUMEN

En la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), se diseñó y elaboró un modelo de simulación matemático para la Unidad de Producción Porcina de la ESPOCH (MSM-UPP-ESPOCH), utilizándose los registros productivos y reproductivos existentes, los mismos que sirvieron de base para las modelizaciones matemáticas y luego adaptadas a un programa sencillo, con interfaz gráfica y amigable, que funciona bajo entorno Windows, los datos de los registros se analizaron mediante el empleo de la estadística descriptiva y el análisis de la regresión lineal para establecer las ecuaciones de predicción. Determinándose que el El MSM-UPP-ESPOCH, muestra con facilidad los eventos reproductivos y productivos en base a un ordenamiento y fácil manipulación de los registros, que se han dividido por categorías, lo que permite realizar la proyección de la productividad de los cerdos a través de la evolución de la piara, ingresando parámetros que pueden ser mejorados y que sean alcanzables. Una de las partes más importante de este modelo, es que permite conocer con un alto grado de exactitud el costo por lechón producido, ya que lo realiza a través del análisis de los costos fijos y variables. Finalmente, posibilita generar informes sobre resultados y/o datos; por lo que se recomienda emplear el MSM-UPP-ESPOCH, en otras explotaciones porcícolas, sean estas pequeñas, medianas y grandes, a fin de validar este modelo y comprobar que tenga la capacidad de representar adecuadamente a los componentes e interacciones del sistema de explotación porcina.

ABSTRACT

At the faculty of animal science of the Polytechnic school of Chimborazo, (ESPOCH), a mathematical simulation model was designed and developed for the unit of swine production of ESPOCH (MSM-UPP-ESPOCH) , using the productive and reproductive existing information, which ones helped as base to the mathematical modeling, and then they are adapted to a simple program, whit a friendly graphical interface, that works with windows the information was analyzed by the use of descriptive stadistics and the leaner regression analysis to stablish the equations of production. Determining that MSM-UPP-ESPOCH shows easily the productive and reproductive events, based on an orderly and easy manipulation of the records, which were divided by categories that allow us to develop the productive proyection of pigs throught the evolution of piarre. Entering paramets that can be improved and that are achievable. One of the most important ports of this model is that allow us to know with a high degree the cost per each piglet produced, because it is produced by the fixed and variable costs. Finally it possibles to generate data reports on the results; so it is recommended the use of MSM-UPP-ESPOCH, in other hog farms, being they small, medium or big to validate this model and see it has capacity to represent properly the components and interactions of the system of pig farm.

CONTENIDO

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Lista de Cuadros	vii
Lista de Gráficos	viii
Lista de Anexos	ix
I. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
II. <u>REVISIÓN DE LITERATURA</u>	3
A. DEFINICION Y ASPECTOS DE LA PORCICULTURA	3
1. <u>La zootecnia y la porcicultura</u>	3
2. <u>Características de los porcinos</u>	3
3. <u>Avances en la producción porcina</u>	4
4. <u>La porcicultura en el Ecuador</u>	5
5. <u>Características reproductivas</u>	6
a. Hembras	6
b. Machos	7
6. <u>La gestación</u>	7
7. <u>El parto</u>	8
8. <u>Ciclo productivo</u>	9
B. ALIMENTACION PORCINA	10
1. <u>Importancia</u>	10
2. Requerimientos nutricionales de los cerdos	10
a. Requerimientos de cerdas gestantes	11
b. Requerimientos de cerdas lactantes	11
c. Requerimientos cerdas secas y reproductores	11
d. Requerimientos para lechones	11
e. Requerimientos para levante	12
f. Requerimientos para ceba	12
C. REGISTROS Y CONTROL DE LA PRODUCCION	13
1. <u>Registros para cría</u>	13
2. <u>Registros para recría</u>	14
D. INDICES PRODUCTIVOS	14
1. <u>Número de cerdas presentes promedio</u>	15

2.	<u>Porcentaje de reemplazos</u>	15
3.	<u>Tasa de fertilización</u>	15
4.	<u>Nº de lechones nacidos por parto</u>	16
5.	Nº de lechones nacidos vivos por parto	16
6.	<u>Peso de los lechones al nacimiento</u>	16
7.	<u>Duración de la lactancia</u>	17
8.	<u>Nº lechones destetados por parto</u>	17
9.	Nº de lechones destetados por cerda por año	18
10.	Porcentaje de mortalidad durante la lactancia	18
11.	<u>Intervalo destete – concepción (Id-c)</u>	19
12.	Tasa de fertilidad aparente (TF) o número de partos/cerda/año	19
13.	Tasa de prolificidad (tp) o tamaño de camada al nacimiento	20
14.	<u>Mortalidad nacimiento – destete (Tm)</u>	21
15.	Productividad numérica de la cerda (Pn)	21
E.	MODELOS DE SIMULACIÓN	22
1.	<u>Definición de modelo</u>	22
2.	<u>Modelo matemático</u>	23
3.	<u>Elementos de un modelo</u>	24
a.	Parámetros	25
b.	Variables	25
c.	Relaciones funcionales	26
d.	Diagramas causales	27
4.	<u>Simulación</u>	27
5.	Desventajas y ventajas de la simulación	28
a.	Desventajas	28
b.	Ventajas	28
6.	Clasificación de los modelos de simulación	29
a.	Descriptivos	29
b.	Explicativos	29
c.	Predictivo	30
d.	Estáticos	30
e.	Dinámicos	30
f.	Determinísticos	30
g.	Estocásticos	30

7. <u>Proceso de simulación</u>	31
8. <u>Validación del modelo</u>	31
9. <u>Simulación por computadora</u>	32
10. Software para la elaboración de modelos de simulación	33
11. Algunos modelos desarrollados para evaluar sistemas pecuarios	33
12. Aplicación práctica de modelos de simulación en porcinos	35
III. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	38
B. UNIDADES EXPERIMENTALES	38
C. EQUIPOS Y MATERIALES	38
D. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	39
E. MEDICIONES EXPERIMENTALES	39
F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	39
G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	40
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	41
A. BARRAS DE MENÚ	41
1. <u>Menú Archivo</u>	41
2. <u>Menú registro</u>	42
3. <u>Menú Ayuda</u>	43
B. MANEJO DE REGISTROS	44
1. <u>Etapas (Planificación)</u>	45
2. <u>Evolución de la piara</u>	47
3. <u>Aspectos Productivos</u>	48
4. <u>Aspectos alimenticios</u>	49
5. <u>Aspectos Económicos</u>	50
V. <u>CONCLUSIONES</u>	53
VI. <u>RECOMENDACIONES</u>	54
VII. <u>LITERATURA CITADA</u>	55
ANEXOS	59

LISTA DE CUADROS

Nº		Pág.
1.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE LAS CERDAS.	7
2.	REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DEL CERDO.	12
3.	PRINCIPALES PARÁMETROS PRODUCTIVOS EN CERDOS.	22

LISTA DE GRÁFICOS

Nº		Pág.
1.	Barra de menú del MSM-UPP-ESPOCH.	41
2.	Opciones de registro del MSM-UPP-ESPOCH.	42
3.	Opciones de evolución del MSM-UPP-ESPOCH.	43
4.	Opciones de tanteo del MSM-UPP-ESPOCH.	43
5.	Opciones de teclas del MSM-UPP-ESPOCH.	44
6.	Barra de herramientas del MSM-UPP-ESPOCH.	44
7.	Opciones del manejo de registros por etapas del MSM-UPP-ESPOCH.	45
8.	Opciones de etapas del MSM-UPP-ESPOCH.	46
9.	Opción para acceder a la evolución de la piara mediante el MSM-UPP-ESPOCH.	47
10.	Proyección de la evolución de la piara mediante el MSM-UPP-ESPOCH.	48
11.	Opciones de aspectos productivos en el MSM-UPP-ESPOCH.	49
12.	Opciones de aspectos alimenticios en el MSM-UPP-ESPOCH.	49
13.	Detalle de las materias primas alimenticias en el MSM-UPP-ESPOCH.	50
14.	Opciones de los costos fijos en el MSM-UPP-ESPOCH.	51
15.	Opciones del detalle de costos de mantenimiento en el MSM-UPP-ESPOCH.	51
16.	Opciones de los costos variables en el MSM-UPP-ESPOCH.	51

LISTA DE ANEXOS

Nº

1. Manual del Usuario del MSM-UPP-ESPOCH.

I. INTRODUCCIÓN

La producción porcina ha cambiado drásticamente en los últimos años. Así, hasta mediados de este siglo, los cerdos eran criados sobre todo de forma extensiva, en unidades familiares y alimentadas con restos domésticos y agrícolas. El objetivo de este tipo de producción era satisfacer las necesidades familiares de carne a un mínimo coste. Sin embargo, a partir de los años 70 y hasta nuestros días, la producción porcina se ha intensificado rápidamente, disminuyendo el número de productores y aumentando la dimensión de las explotaciones. La producción porcina se realiza hoy en día en empresas comerciales y como tal, su objetivo es el de maximizar su rendimiento económico.

Cada empresa porcina debe desarrollar sus propios protocolos de trabajo de acuerdo a sus características (tamaño, clima, instalaciones, genética, sanidad), existen esquemas básicos que deben ser tomados en cuenta. Estos esquemas deben estar por escrito y al alcance y disposición de todos, estos esquemas deben seguir un organigrama para que cada integrante del grupo de trabajo tenga por escrito sus funciones, tareas y responsabilidades, por efecto de optimizar el trabajo (<http://www.bioalimentar.com.ec>. 2011).

Entender los procesos productivos a partir de experiencias concretas, es decir, empresas en funcionamiento expresando en modelos sencillos la estructura como la dinámica que dichos procesos implican, por una parte puede identificar los elementos que apoyen la toma de decisiones para quienes dirigen estas empresas; pero, también, la comprensión para quienes desde fuera las observan y estudian.. La llave para poder entender tales sistemas es la ciencia de la simulación. Los sistemas complejos deben ser simulados mediante la construcción de modelos (Márquez, R. y Ramírez, V. 2010).

Un modelo es la representación simplificada de un sistema, donde se describen las variables dependientes e independientes de interés, características y restricciones mediante símbolos, diagramas y ecuaciones. Pueden ser descriptivos o de simulación, en los primeros únicamente se representan los componentes del sistema, mientras que en los segundos se imita el

funcionamiento del sistema y se obtienen resultados predictivos, en forma de datos numéricos o gráficos. En el ámbito científico, los modelos se han empleado en diferentes disciplinas, logrando mejorar el conocimiento de las características y el funcionamiento de los sistemas o elementos evaluados; conociendo mejor el problema se ha mejorado en el planteamiento y fundamentación de hipótesis de investigación. Por otro lado, para el manejo y planificación de los sistemas, el uso de modelos permite una representación anticipada de la administración y uso de los componentes y recursos, así como la adición, sustracción o modificación de interacciones y relaciones (Candelaria, B. et al. 2011).

Los sistemas tradicionales de explotación porcina no disponen de un manejo técnico ni de una tecnología adecuada lo que retrasa la eficiencia en la producción, por esta razón, se debería manejar una herramienta que ofrece la disponibilidad de integrar los datos sobre un sistema de producción determinado, la información experimental y los conceptos dentro de una lógica y una descripción cuantitativa de los procesos que involucran el sistema. Aparece como una buena alternativa para explotar los factores que en mayor o menor grado afectan a un sistema de producción. Debido a esto el uso de modelos de simulación y los de programación lineal son una ayuda básica en el análisis de sistemas y especialmente para indicar el punto de intervención del técnico sin deteriorar el ambiente.

Por lo anotado, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

- Diseñar y elaborar un modelo de simulación matemático en la Unidad de Producción Porcina de la ESPOCH.
- Incluir en el modelo de simulación matemático y predictor UPP-ESPOCH, aspectos productivos, reproductivos, alimenticios y económicos.
- Evaluar el sistema predictor de resultados en funciones de condiciones productivas, reproductivas, administrativas y de control sanitario para asistencia técnica y toma de decisiones en la planificación de empresas productoras de cerdos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

A. DEFINICION Y ASPECTOS DE LA PORCICULTURA

Ricaurte, S. (2007), señala que la porcicultura es la crianza de los cerdos con fines industriales, o sea para su faena, conociendo todos los principios en los cuales se fundamenta la crianza. Esos fines industriales no excluyen que se realice solo para el ámbito familiar. Saber la técnica o provecho que se puede sacar del cerdo según las condiciones del clima, facilidades del transporte, disposición de herramientas de trabajo, demanda de los productos y mercado. De todo esto se deducen las enseñanzas prácticas que se deben aplicar en el manejo de la industria, para que el porcicultor tenga el mínimo de gastos (egresos) y mayor rendimiento económico (ingresos).

1. La zootecnia y la porcicultura

La porcicultura hay que estudiarla con base de la zootecnia, ciencia que enseña a sacar de los animales útiles al hombre el mayor provecho posible. Se divide en general y especial. La primera (zootecnia general), estudia las leyes que rigen la producción animal y la segunda (especial), aplica estas leyes a cada grupo de animales (cardos, vacas, aves, etc.). Los animales en zootecnia se consideran como máquinas y tienen que dar determinado rendimiento, según se les instale, se alimenten, se cuiden y manejen. Máquina que no da rendimiento, dañada o vieja se elimina. En zootecnia trata de la misma manera al animal. Tiene que producir más de lo que consume en alimentación y cuidados; animal viejo, enfermo o que no produce se elimina y se vende (Ricaurte, S. 2007).

2. Características de los porcinos

Los cerdos son animales de fácil manejo que pueden alimentarse con una gran variedad de productos, incluyendo desperdicios domésticos; si se tiene un buen manejo sanitario, genético y estrategias de mercado adecuadas, pueden ser una excelente fuente de ingresos para las familias rurales. Además, su carne se puede transformar y aumentar de valor. La producción de cerdos es una actividad

que puede resultar muy redituable si se tiene un buen plan de manejo que involucre aspectos de nutrición, sanidad, reproducción y genética. Cualquier explotación, extensiva o intensiva puede alcanzar el éxito si se considera lo anterior. Sin embargo, por considerarse de mayor impacto social y económico, los aspectos a tratar en este trabajo se referirán principalmente al manejo de razas mejoradas en condiciones de confinamiento en unidades de producción familiar o microempresas rurales. Se recomienda que los productores se asocien y en la medida de lo posible agreguen valor al producto por medio de su transformación (Pérez, O. 2011).

3. Avances en la producción porcina

Trolliet, J. (2011), señala que durante las últimas décadas se han efectuado considerables avances en los aspectos científicos y prácticos de la producción de cerdos. El conocimiento sobre cuestiones particulares de la producción porcina ha aumentado con una rapidez sorprendente y en la práctica han tenido lugar muchos adelantos. Ha sido en extremo difícil para quienes se ocupan de la investigación y enseñanza en este campo, mantenerse al tanto de las especializaciones en la situación práctica; así como también difícil ha sido para el productor y su personal estar al corriente del conocimiento en desarrollo, analizarlo e incorporar lo que sea provechoso y aplicable a la práctica. Por lo que anota las siguientes consideraciones:

- La cerda en vida sirve a un propósito comercial: producir lechones; y con cuanta mayor eficiencia lo haga, tanto más elevado será el margen de utilidad en cualquier empresa dedicada a la producción porcina.
- El número de lechones producidos por cerda y por año es el factor más influyente sobre la productividad en la producción de cerdo. La alimentación de la cerda puede considerarse como un costo fijo con lo que a mayor número de lechones ese costo se diluye notablemente.
- De los factores que contribuyen a los costos totales en la producción porcina, la alimentación representa entre el 60 y el 80 %. Puesto que una gran parte de

este alimento se utiliza sólo para mantener la piara de reproducción y es independiente del número total de animales producidos, existe entonces un importante incentivo para mejorar la productividad por cerda, con el fin de mejorar los márgenes de utilidad.

- Si bien en la mayoría de las explotaciones se obtienen entre 16 y 23 o más lechones por cerda por año, en las condiciones de producción de nuestro país se pueden encontrar, en algunas situaciones, productividades mucho menores. Sin embargo, en los últimos años, se han producido importantes cambios tecnológicos que han permitido grandes avances en este sentido.
- Los niveles de alimentación se han logrado descender apreciablemente mediante un mejoramiento en la calidad de las dietas sin afectar, en la mayoría de los casos, en forma negativa el rendimiento, es decir regularidad reproductiva, número de lechones por camada y peso al destete. Existen numerosos factores a tener en cuenta para reducir los costos de producción, mano de obra, instalaciones, etc. Sin embargo, si el objetivo es aumentar el margen de utilidad, se puede afirmar que la posibilidad de reducir costos es limitada si se la compara con la considerable oportunidad que existe para aumentar la producción total.

4. La porcicultura en el Ecuador

Miño, A. (2011), indica que hace algunos años la producción de cerdos en el Ecuador se limitaba a una labor poco tecnificada de crianza en patios, alimentados de desechos de cocina. La imagen de este tipo de producción y en sí de los cerdos era la de animales portadores de varias enfermedades, entre ellas la triquinosis y la gripe porcina. Actualmente esta es una labor más tecnificada, y dadas las nuevas exigencias de los mercados las producciones ahora son más sanitarias y especializadas. El mercado actual de cerdos a nivel nacional e internacional ha crecido mucho, así también las exigencias de mejor calidad por parte de los consumidores.

Según datos de la Asociación de Porcicultores del Ecuador (ASPE), la producción

de cerdos de traspatio, cerdos criados con desechos de cocina, es de más de 30 000 TM/año. El consumo estimado de carne de cerdo en el 1990 era de 5 kg./persona/año, para el 2009 la cifra aumentó a 8.5 kg./persona/año. El creciente incremento del consumo de carne de cerdo en el país hace necesaria también el incremento en la producción.

Además Miño, A. (2011), reporta que los resultados del censo del 2010, arrojan que en el país existen 1.737 granjas porcinas con 20 o más animales o con al menos 5 madres, con un total de 310.607 cerdos. El mayor porcentaje de granjas y de animales se encuentran en las regiones Sierra y Costa, con el 79% de las granjas registradas y al 95% de la población porcícola. En la Amazonía y Galápagos se existe el 21% de las granjas y solamente el 5% de los porcinos. En este universo censal, la producción porcina está claramente dividida entre un pequeño grupo de grandes fincas tecnificadas con sistemas de producción intensiva, que representan el 3% del total de granjas y poseen el 73% de la población porcina y un gran grupo de pequeñas y medianas granjas que equivalen al 97% del total y poseen el 27% de los cerdos.

El 85% de la población censada son categorías destinadas a producción y reemplazo de la producción. Del total destinado a la producción, el 47% son para engorde, el 23% son lechones y el 30% levante. El 15% de cerdos son animales para reproducción. De esta información poblacional, la relación cerdos en producción/madres es de 16,83 es decir que una madre está “produciendo” 16,83 cerdos por año. En las fincas tecnificadas esta relación en promedio es de 22,4 cerdos/madre/año, mientras que en las fincas no tecnificadas el promedio es de 9,6 cerdos/madre/año. En cuanto a la relación entre madres y verracos es de un verraco por cada 15 madres.

5. Características reproductivas

a. Hembras

Según Carrero, H. (2010), para manejar adecuadamente una cochera de cría es necesario conocer las características reproductivas de las cerdas, aunque estas

características no sean exactas para todos los animales, se presentan dentro de rangos bastante precisos. En el cuadro 1, se muestra algunas características reproductivas en las cerdas.

Cuadro 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE LAS CERDAS.

Características	Rango
Madurez sexual	5 - 5 1/2 meses
Madurez reproductiva	7 - 8 meses
Duración del calor (celo)	24 - 48 horas
Longitud ciclo estrual	18 - 21 días
Aparición calor después de destete	3 - 8 días
Monta	2 saltos con 8 a 12 horas de intervalo a partir del primer día de calor.

Fuente: Carrero, H. (2010).

b. Machos

La madurez sexual del cerdo reproductor es un proceso gradual, algunos pueden servir desde los 5 meses pero no es nunca aconsejable; se recomienda su uso como reproductor a los 7 – 8 meses de edad cuando están bien desarrollados y tienen un peso de 110 - 120 kg. La producción óptima de espermatozoides se alcanza de los 12 a los 15 meses de edad. No es aconsejable utilizar un reproductor dos veces el mismo día. Cuando el reproductor (verraco), se muestre fatigado por exceso de servicios se le debe dejar descansar algún tiempo (Carrero, H. 2010).

6. La gestación

Trolliet, J. (2011), reporta que el período de gestación de la cerda (tomando como día cero el día de servicio), normalmente se considera de 114 días. El promedio de gestación para diferentes piaras varía entre 113 y 116 días, dependiendo del genotipo y del manejo. También, señala que algunos autores sostienen que existe una cierta variabilidad en la duración de la gestación y que esta diferencia

estaría relacionada, además del genotipo y manejo, con el tamaño de camada al nacimiento (camadas menos numerosas, gestación más prolongada), otros opinan que la duración del período de gestación es un factor no variable, que no se ve influenciado por factores externos ni por el tamaño de camada que gesta. Como se puede apreciar, si bien existen opiniones encontradas en lo referido a la duración de la gestación, la realidad señala que más allá de pequeñas variaciones, es un componente relativamente constante y que escapa a nuestro alcance intentar modificarlo.

7. El parto

<http://www.fao.org>. (2011), indica que una semana antes del parto es conveniente preparar el corral de maternidad. Limpiar y desinfectar el piso, paredes, comederos y bebederos. Colocar una cama de 15 cm de paja, aserrín, rastrojo de maíz o algún otro material aislante. Antes de que sea instalada en el corral de parto, la hembra debe recibir un baño con agua y jabón y algún producto desparasitante. Se deben limpiar y lavar las tetas todos los días. De 24 a 36 horas antes del parto la alimentación de la cerda debe ser suspendida, proporcionándole sólo agua limpia. Los síntomas principales de la aproximación del parto son los siguientes:

- La cerda se pone nerviosa e inquieta y algunas veces agresiva;
- Generalmente rehusa ingerir alimento;
- La vulva y tetas se inflaman;
- Con el hocico comienza a reunir material de la cama para hacer su nido;
- Al apretar los pezones estos segregan algo de leche.

La duración normal de un parto es de dos a tres horas, pero puede prolongarse hasta seis horas. Generalmente los lechones nacen en intervalos de 15 a 20 minutos. La señal de conclusión del parto, es la expulsión de la placenta. Los lechones muertos y los restos de placenta deben ser retirados. A las 24 horas después del parto las cerdas deben ser nuevamente alimentadas.

8. Ciclo productivo

Carrero, H. (2010), señala que para todo porcicultor o persona dedicada a la explotación del cerdo es de gran importancia conocer el ciclo de producción porcina, ya que el manejo de estas etapas, al igual que de todo el sistema de producción del cerdo desde el momento de su nacimiento hasta que es llevado al mercado determinan los beneficios o pérdidas de tipo económico.

- Se podría decir que el ciclo productivo del cerdo comienza desde el momento de su nacimiento y por ello es indispensable tener en cuenta todas las recomendaciones sobre manejo y cuidados con el lechón recién nacido. Luego viene una etapa de lactancia que oscila generalmente desde 21 a 63 días dependiendo de las instalaciones y el manejo que se tenga en la porqueriza.
- Pasada la etapa del destete los cerdos entran a una etapa llamada iniciación que va desde el destete hasta los 20 Kg. de peso vivo, luego ingresan a la etapa de levante la que va desde los 20 Kg. hasta los 45 Kg. o sea más o menos desde los 60 hasta los 120 días aproximadamente. Terminado el levante los cerdos pasan a la etapa de engorde, que va desde los 45Kg. de peso hasta 90 - 110 Kg., que es el peso final para el mercado.
- Si los cerdos se destinan como reemplazos se seleccionan a los 8 meses o sea después de la ceba. Estos cerdos serán los que posteriormente se utilizaran en la porqueriza como reproductores para monta.
- El ciclo productivo completo de una cerda es como sigue: La etapa de gestación es de 115 días aproximadamente, tiempo al cual tiene su parto, luego viene la etapa de la lactancia que es aproximadamente 49 - 63 días que es el momento cuando se realiza el destete, luego del destete viene un período vacío que es de 7 días, tiempo en el que ocurre la recuperación del útero, pasada esta etapa la cerda entra en calor o celo, momento que se debe aprovechar para ser servida (monta). Si la cerda después de servida por el reproductor no queda preñada volverá a repetir el calor a los 21 días o sea que es de gran importancia observar la cerda 21 días después de haber sido

servida, para comprobar si ha quedado preñada. También es recomendable volver a mirar la cerda a los 42 días del servicio para acabar de confirmar la preñez. Finalmente si la cerda ha quedado preñada, tendremos que volver a esperar 115 días que es su tiempo de gestación.

B. ALIMENTACION PORCINA

1. Importancia

En los sistemas de producción porcina, cerca del 75% de los alimentos son consumidos durante la fase de engorde. Por otro lado, la alimentación representa la mayor parte del coste total de la producción y pequeñas disminuciones de los costes asociados a la fase de engorde tienen repercusiones importantes sobre la rentabilidad. Por este motivo, es importante precisar las necesidades nutritivas de los animales. Una alimentación deficiente implicará una disminución del crecimiento de los cerdos mientras que un exceso de nutrientes representa un despilfarro que generalmente cuesta caro y sobre todo, como en el caso de la proteína y algunos minerales como el fósforo, contribuye al deterioro medioambiental (Pomar, C. y Bailleul, P. 2010).

Pérez, O. (2011), señala que el alimento que se les ofrece determina en gran medida la salud de los animales, su aumento de peso, su capacidad reproductora, el aprovechamiento que hacen del alimento, el tipo de canal que rinden y el beneficio económico de la unidad de producción.

2. Requerimientos nutricionales de los cerdos

El cerdo es un monogástrico (un solo estómago), con escaso desarrollo del intestino grueso. Esto determina la necesidad de un suministro de alimentos más ricos en proteína y vitaminas (complejo B). El suministro de nutrientes debe hacerse de acuerdo a las necesidades nutricionales para cada grupo de alimentación (Carrero, H. 2010).

a. Requerimientos de cerdas gestantes

Las cerdas gestantes y los machos reproductores tienen similares requerimientos nutricionales y por tal motivo, requieren de alimentos cuyo valor nutritivo sea de 3.200 Kcal de energía digestible y de un 14% de proteína cruda (Carrero, H. 2010).

b. Requerimientos de cerdas lactantes

Durante la etapa de lactancia las necesidades alimenticias aumentan debido a la alta producción de leche, que causa un gran desajuste en las reservas nutritivas de la hembra, de ahí que es necesario proporcionar una ración o un alimento concentrado que suministre todos los nutrientes necesarios: Proteína: 15%, Energía digestible: 3.300 Kcal./Kg (Carrero, H. 2010).

c. Requerimientos cerdas secas y reproductores

Este tipo de animales tienen unas necesidades nutricionales más o menos similares a las de las cerdas gestantes. Esto se estima para cerdos en condiciones normales, pues cuando las cerdas secas están flacas, se debe suministrar más alimento; igualmente cuando los reproductores tienen mucho servicio, también se debe aumentar el suministro de alimento (Carrero, H. 2010).

d. Requerimientos para lechones

Las necesidades nutricionales para lechones lactantes son las más críticas que en otras fases de producción, debido a que el sistema digestivo del lechón todavía no está completamente desarrollado. El alimento fundamental del lechón, es la leche materna; con el objeto de acelerar el desarrollo y crecimiento de la cría, el porcicultor debe iniciar lo más pronto posible el suministro de alimentos al lechón, para lograr el mayor peso posible al destete. Por lo tanto debe suministrar un alimento con 22% de Proteína y 3.500 Kcal. de energía digestible. Después del destete se continuará suministrando un alimento con el mismo valor energético 3.500 Kcal. y se rebajará un poco la Proteína a 18% (Carrero, H. 2010).

e. Requerimientos para levante

Este período va desde los 20 kilos de peso vivo del lechón, hasta los 45 kilos. En esta fase los cerdos deben recibir un alimento que contenga de 16% de Proteína, en cuanto a energía deben recibir un alimento con 3.300 Kcal. de Energía Digestible (Carrero, H. 2010).

f. Requerimientos para ceba

A partir de los 45 kilos de peso del cerdo y hasta el momento de la venta o sacrificio, se le denomina Ceba o acabado. Para este período el cerdo deberá recibir diariamente 13% de Proteína cruda y 3.300 Kcal. de energía digestible (Carrero, H. 2010).

El cuadro 2, muestra las necesidades de los cerdos en términos de minerales y vitaminas, y de acuerdo a los niveles energéticos y proteínicos recomendados anteriormente.

Cuadro 2. REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS DEL CERDO.

Ciclo de vida	Crecimiento y acabado					Gestación	Lactancia
	5-10	10-20	20-35	35-60	60-100		
Peso corporal, Kg.	5-10	10-20	20-35	35-60	60-100	110-250	140 - 250
Ganancia día, Kg.	0.3	0.5	0.6	0.75	0.9	0.35	--
Consumo día, Kg.	0.2	0.75	1.7	1.8-2.4	2.4-3.0	2.0	5.0
Energía Dig. kcal/kg	3500	3500	3300	3300	3300	3300	3300
Proteína cruda, %	22	18	16	14	13	14	15
Calcio %	0.80	0.65	0.65	0.50	0.50	0.75	0.60
Consumo diario, g.							
Fósforo %	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40	0.50	0.40
Consumo diario, g.	3.6	6.3	8.5	10.0	14.8	10.0	20.0
Fibra cruda, % Máx.	--	--	5	7	7	10	10
Grasa, % Máximo	5	5	5	6	6	8	8

Fuente: Carrero, H. (2010).

C. REGISTROS Y CONTROL DE LA PRODUCCION

En la actualidad la producción porcina no se concibe sin recolectar información básica, indispensable para tomar decisiones de manejo (fechas de servicio y parto), sanitarias (fechas de vacunaciones) y de control de gestión con sus resultados económicos. En estos aspectos lo más elemental es la identificación de los reproductores. Como principio se recomienda no tomar demasiada información que luego se es incapaz de analizar e interpretar. Más vale poca y manejable que mucha y enmarañada de la que no se sacan conclusiones (Ricaurte, S. 2007).

1. Registros para cría

Según Ricaurte, S. (2007), los datos necesarios, imprescindibles se dividen en tres áreas:

- Plantel: lista actualizada de hembras y padrillos en actividad reproductiva con número de identificación, fecha de alta (ingreso a la vida reproductiva), raza o composición genética, fecha de nacimiento (padre y madre), procedencia, fecha de baja, causa, tratamientos sanitarios, vacunaciones.
- Servicios: para cada vientre se anotan los siguientes eventos: fecha de servicio, tipo de servicio (natural o artificial), identidad del padrillo, número de saltos, preñada (si/no), con fecha probable de parto, aborto, no parto u otras irregularidades.
- Parto-lactancia: para cada vientre se anotan los siguientes eventos: fecha de parto, tipo de parto, lechones nacidos totales, lechones nacidos vivos, machos (números de identificación individual, por camada o semana), hembras (idem), fecha y causa de muerte, fecha de destete, peso al destete, transferencias, momias. Vacunaciones, desparasitaciones y tratamientos veterinarios relevantes con sus respectivas fechas. Score de condición corporal al parto y destete.

2. Registros para recría

Ricaurte, S. (2007), indica que los registros de la recría se limitan a registrar los números de lechones destetados, las fechas de destete, el consumo de ración, las vacunaciones y misceláneas y por sobre todo la evolución del peso.

- Reemplazos: se los controla sobre los resultados obtenidos en las madres. Todos los datos, imputables a la genética, de cada camada representan al desempeño del macho en un 50 %. Será objeto de una consulta a un profesional determinar si alguna manifestación específica corresponde a deficiencias del macho o de la hembra.
- Consumo de ración: en cada etapa o caso se anotan los consumos (gastos), parciales y totales), los precios o el de sus ingredientes con los que se elaboran en el criadero en cada bachada o tanda.

D. INDICES PRODUCTIVOS

Ricaurte, S. (2007), indica que la productividad en la cría se resume en el número de lechones destetados por madre al año; un índice compuesto que surge tomando algunos de los siguientes promedios:

- Número de madres en el plantel
- Número de partos por año
- Número de partos por madre al año (a)
- Número de lechones nacidos totales por camada
- Número de lechones nacidos vivos por camada
- Peso al nacimiento (opcional)
- Número de lechones destetados por camada (b)
- Edad al destete
- Peso al destete (opcional)
- Número de lechones destetados/madre/año = (a) X (b)
- Número medio de cerdas en el año = suma del número mensual de cerdas/número de meses

- Camadas/madre/año = número de partos en un año/número medio de cerdas en el año
- Secundarias o accesorias: intervalo entre partos, intervalo destete-celo, intervalo destete-preñez, causas de refugo, día productivos, edad al descarte.

A continuación se describe la forma de cálculo de algunos de ellos.

1. Número de cerdas presentes promedio

El número total de las cerdas incluyendo los reemplazos servidos (dato que se saca del inventario mensual) y se divide por 12 que son los meses del año (Carrero, H. 2010).

$$\text{N}^{\circ} \text{cerdas promedio} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{total de cerdas}}{12}$$

Ej: N° total de cerdas = 780

N° meses = 12

N° cerdas promedio = (780 / 12) = 65

2. Porcentaje de reemplazos

El porcentaje de reemplazos según Carrero, H. (2010), se calcula mediante:

$$\% \text{ de reemplazos} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{reemplazos sin servir}}{\text{número de cerdas promedio}} \times 100$$

Ej. N° reemplazos presentes sin servir = 16

N° cerdas presente promedio = 65

% de reemplazos = 16 x 100 / 65 = 24.6%

3. Tasa de fertilización

En condiciones normales la tasa de fertilización en el cerdo es alta, estando alrededor del 90%. Los fallos en la fertilización se deben fundamentalmente a

fallos totales en un número reducido de hembras que retornaran al celo a los 21 días después del servicio (Trolliet, J. 2011).

4. **Nº de lechones nacidos por parto**

Carrero, H. (2010), indica el Nº de lechones nacidos por parto se determina de la siguiente manera:

$$\text{Nº lechones nacidos/parto} = \frac{\text{Nacidos vivos} + \text{Nacidos muertos}}{\text{Nº total de partos}}$$

Ej: Nº lechones nacidos vivos = 1.053; Nº lechones nacidos muertos = 234

Nº total de partos = 117

Nº de lechones nacidos por parto = $(1.053+234)/117 = 11$

5. **Nº de lechones nacidos vivos por parto**

Según Carrero, H. (2010), el Lechones nacidos vivos/parto se calcula mediante el siguiente propuesto:

$$\text{Nº lechones nacidos vivos/parto} = \frac{\text{Lechones nacidos vivos}}{\text{Nº total de partos}}$$

Ej. Total lechones nacidos vivos = 1.053

Nº total de partos = 117

Lechones nacidos vivos/parto = $1.053 / 117 = 9$

6. **Peso de los lechones al nacimiento**

Los lechones con un peso al nacimiento superior a 1,5 kg, tienen una ganancia de peso, en las primeras 24 hs. de vida, significativamente superior que aquellos con un peso inicial menor de 1,3 kg, los lechones con pesos muy bajos al nacimiento (<0.8 kg), deben ser considerados casos especiales, más del 60 % de éstos lechones morirán antes del destete. Trolliet, J. (2011),

7. Duración de la lactancia

De acuerdo a Ricaurte, S. (2007), al destete se le puede definir como la remoción del lechón de la leche proporcionada por la madre. El destete se puede clasificar en:

- Destete ultra precoz: Es el que se realiza menor de 21 días de edad, es necesario sistema especial de explotación. Este tipo de destete requiere de manejo, sanidad, y alimento especial. El peso del lechón es menor de 5 Kg.
- Destete precoz: Es el que se realiza entre 21 y 30 días de edad, requiere de manejo, sanidad y alimento especial. El peso del lechón está entre 5 a 7 Kg.
- Destete moderado: Se realiza entre los 30 a 42 días, es menos exigente en labores de manejo. El peso del lechón varía entre 7 a 10 Kg.
- Destete tardío: Ocurre entre los 42 a 56 días de vida y no es recomendable por las pérdidas de eficiencia reproductiva de las cerdas. Además la producción de leche es baja. El peso varía de 10 a 15 Kg.

Las ventajas de las lactaciones cortas se relacionan con una disminución considerable del intervalo entre partos, logrando así un mayor beneficio al aumentar el número de partos por cerda por año, lo que naturalmente eleva el número de lechones producidos por cerda año, logrando por lo tanto una mayor productividad anual de la cerda en términos de lechones nacidos vivos. Es posible que el método más efectivo para incrementar la productividad de la cerda sea reducir el período de lactación, es decir destetar mas precozmente. La elección de la duración de la lactancia esta supeditada tanto a los intereses de los lechones destetados como de la cerda. Hasta que la cerda no es destetada, no puede volver, en general, a presentar celo e iniciar una nueva gestación (Trolliet, J. 2011).

8. N° lechones destetados por parto

N° lechones destetados por parto, es igual al número de lechones nacidos vivos menos el número total de lechones muertos durante la lactancia, dividido por el número de partos (Carrero, H. 2010).

$$\text{N}^\circ \text{ lechones destetados/parto} = \frac{\text{Lechones nacidos vivos} + \text{Lechones muertos}}{\text{N}^\circ \text{ partos}}$$

Ej. N° lechones nacidos vivos = 1.053

N° Lechones muertos en lactancia = 147

N° partos = 117

N° lechones destetados/parto = $(1.053 - 147)/117 = 7.8$

9. N° de lechones destetados por cerda por año

Lechones destetados/cerda/ año según Carrero, H. (2010), se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{N}^\circ \text{ Lechones destetados/cerda/ año} = \frac{\text{N}^\circ \text{ lechones destetados} \times \text{N}^\circ \text{ partos}}{\text{N}^\circ \text{ promedio cerdas presentes}}$$

Ej. N° Lechones destetos por parto = 7.8

N° total de partos = 117

Promedio cerdas presentes = 65

Lechones destetados/cerda/ año = $(7.8 \times 117)/65 = 14.04$

10. Porcentaje de mortalidad durante la lactancia

El % de mortalidad durante la lactancia es igual al número de lechones muertos durante la lactancia multiplicado por 100 y dividido por el número de lechones nacidos vivos (Carrero, H. 2010).

$$\% \text{ mortalidad en lactancia} = \frac{\text{N}^\circ \text{ lechones muertos}}{\text{N}^\circ \text{ lechones nacidos vivos}} \times 100$$

Ej. N° de lechones muertos = 147

N° de lechones nacidos vivos = 1.053

% mortalidad en lactancia = $(147 \times 100)/1053 = 14$

11. Intervalo destete – concepción (Id-c)

En las explotaciones porcinas, se considera al intervalo destete cubrición fértil uno de los aspectos productivos más importantes, de manera que cada día de aumento del mismo supone un incremento de los costos de producción, ya sea por ciclo reproductivo, por lechón destetado o por kilogramo de carne producida. El tiempo que transcurre entre el destete y el servicio efectivo tiene una marcada importancia ya que representa, junto a selección – primera cubrición y destete final - venta, el único período en que la cerda no es productiva (días vacíos). La importancia se hace evidente cuando se considera la productividad en términos de días vacíos, ya que éstos la reducen gravemente (Trolliet, J. 2011).

Bajo una función óptima, el estro deberá presentarse 4 a 10 días después del destete en 85 a 90% de las cerdas. El retorno al estro puede estar influenciado por partos de la cerda, estado nutricional, exposición al padrillo, tamaño de la camada al destete, duración de la lactancia y condiciones tensionales después del destete (Ricaurte, S. 2007).

12. Tasa de fertilidad aparente (TF) o número de partos/cerda/año

Este componente está dado por la duración de la gestación (G), de la lactancia (L) y por el intervalo destete – concepción (Id-c), que comprende el intervalo destete - primer estro y el intervalo primer estro – concepción o servicio efectivo (Trolliet, J. 2011).

$$Tf = 365 / (G + L + Id-c)$$

Además el número de partos/cerda/año está afectado por el intervalo entre: selección a primera concepción y entre destete final - venta de la cerda. Aquí se puede destacar períodos productivos e improductivos en la vida de la cerda los cuales son bastante definidos:

Períodos productivos: gestación y lactación

Períodos Improductivos: selección – primera concepción; destete – concepción; y, destete final – venta.

De acuerdo a Carrero, H. (2010), el número de partos por cerda por año, también se calcula de la siguiente manera:

$$\text{N}^{\circ} \text{ partos/cerda/año} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ total de los partos por año}}{\text{N}^{\circ} \text{ de cerdas presentes promedio}}$$

Ej. Total partos por año = 117

Promedio cerdas presentes = 65

Partos/ cerda/ año = 117 / 65 = 1.8

13. Tasa de prolificidad (tp) o tamaño de camada al nacimiento

Trolliet, J. (2011), indica que este componente esta dado por:

- Tasa de ovulación. Término que describe el número de óvulos desprendidos o liberados en cualquier ciclo estral y que representa el tamaño potencial de la camada.
- Tasa de fertilización. Porcentaje de óvulos liberados en cada proceso de ovulación que se fertilizan y son capaces de iniciar las divisiones correspondientes.
- Mortalidad embrionaria y fetal. Después de la ovulación y fertilización el tamaño potencial de la camada disminuye por un número de pérdidas en el desarrollo a lo largo de la gestación.
- Pérdidas en el parto. Las pérdidas por muertes intrapartum son causa de preocupación. Estas muertes son cerca de cuatro veces más numerosas que las muertes de lechones antes de que comience el parto, pudiendo llegar a ser (en promedio), de casi medio cerdo por camada o un lechón cada tres partos.

Bajo sistemas normales de crianza, una cantidad de 11 a 12 lechones nacidos vivos promedio por camada debería ser el objetivo en las cerdas adultas, y de 9 – 10 lechones en las primerizas.

Ricaurte, S. (2007), reporta que la tasa de ovulación y el tamaño de la camada se incrementan con la edad o pariciones avanzadas, estabilizándose después de 6 o

7 camadas. La tasa de nacidos muertos aumenta lentamente después de la cuarta parición de manera que la ventaja de mantener cerdas más viejas se pierde en forma gradual.

14. Mortalidad nacimiento – destete (Tm)

Un objetivo de supervivencia del 100 % de los lechones nacidos vivos no es realista. Al nacer los lechones afrontan un gran desafío, ya que, de un ambiente protegido y una alimentación segura en el útero materno, tienen que adaptarse a un nuevo ambiente y obtener mediante su propio esfuerzo el alimento constante y adecuado de su madre, compitiendo con sus hermanos de camada para poder sobrevivir. Es de esperar que un cierto porcentaje de estos lechones no logren tener éxito frente a este desafío. El 4 – 10 % de los cerdos nacidos mueren durante el parto y un valor adicional (10 – 30 %), puede morir antes del destete, sucediendo la mayoría de estas muertes durante la primera semana después del parto (Trolliet, J. 2011).

15. Productividad numérica de la cerda (Pn)

Según Trolliet, J. (2011), la productividad numérica de la cerda, se mide por el número de lechones destetados por cerda por año y para su cálculo se utiliza la siguiente formula:

$$Pn = Tf \times Tp \times (1 - Tm/100)$$

Donde:

Pn = Número de lechones destetados / cerda / año.

Tf = Tasa de fertilidad aparente. corresponde al número de partos/cerda/año

Tp = Tasa de prolificidad. Representada por el número de lechones nacidos vivos por camada o tamaño de camada al nacimiento.

Tm = Tasa de mortalidad total entre nacimiento y destete. (Expresado en porcentaje).

De acuerdo a Flores, L. (2008), hay muchos otros parámetros, algunos de los cuales se observan en el cuadro 3, que se deben registrar mensualmente en una

granja porcina, y las metas mínimas aceptables hoy en día para un productor moderno y tecnificado, así como una meta óptima, que es difícil pero fácil de alcanzar, maximizando todos los factores que intervienen en la producción porcina.

Cuadro 3. PRINCIPALES PARÁMETROS PRODUCTIVOS EN CERDOS.

Parámetros	Mínimo aceptable	Nivel óptimo
Porcentaje de pariciones	85	90
Partos / hembra / año	2,0	2,4
Promedio nacidos totales	10,5	11
Promedio nacidos muertos	10	10,7
Nacidos / hembra / año	20,0	25,68
Porcentaje mortalidad lactancia	10	5
Promedio lechones destetados	9	10,16
Destetados / hembra / año	18	24,38
Porcentaje mortalidad post- destete	3	1,5
Promedio cerdos vendidos / camada	8,73	10
Cerdos vendidos hembra / año	17,46	24
Peso promedio venta kg	85	95
Edad promedio ventas (días)	150	150
Ganancia diaria de peso (g/día)	566	633
C.A. reproductores	0,7	0,5
C.A. Nac.- venta	2,8	2,4
C.A. Total granja	3,5	2,9

Fuente: Flores, L. (2008).

E. MODELOS DE SIMULACIÓN

1. Definición de modelo

Un modelo puede ser una representación conceptual, numérica o gráfica de un objeto, sistema, proceso, actividad o pensamiento; destaca las características que el modelador considera más importantes del fenómeno en cuestión, por lo que se emplea para analizar exhaustivamente cada una de sus relaciones e

interacciones, y con base en su análisis, predecir posibles escenarios futuros para dicho fenómeno. Así, un modelo puede describirse como una representación simplificada de un sistema real, y es en esencia, una descripción de entidades y la relación entre ellas (García, J. 2008).

Por lo anterior, el modelado o modelaje puede considerarse como un método eficiente para reducir y entender la complejidad de los sistemas. Un modelo de simulación es un conjunto de ecuaciones que representa procesos, variables y relaciones entre variables de un fenómeno del mundo real y que proporciona indicios aproximados de su comportamiento bajo diferentes manejos de sus variables (Pérez, M. et al., 2006); los cuales, permiten abordar una cuestión puramente teórica, en cuyo caso su finalidad es puramente teórica, o una situación real, orientado a dar una respuesta concreta (García, J. 2004), formalizar en un modelo de simulación nuestra percepción del fenómeno real y simular el efecto de diferentes alternativas.

En algunas disciplinas del conocimiento y en la toma de decisiones, se usan los modelos de simulación, justificado principalmente cuando la operación de las estrategias propuestas o la experimentación son costosas, riesgosas o se duda de su practicidad (Candelaria, B. et al. 2011).

2. Modelo matemático

<http://www.uniboyaca.edu.co>. (2011), señala que en ciencias aplicadas un Modelo matemático es uno de los tipos de modelos científicos, que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

Candelaria, B. et al. (2011), sostiene que dentro de cualquier proceso productivo, la programación lineal es la herramienta matemática más utilizada a la hora de sustituir insumos para obtener el máximo beneficio económico. Para que una situación determinada sea susceptible de ser analizada por programación lineal

debe tener los siguientes componentes: una función objetivo, que es aquella que se pretende maximizar o minimizar; las variables, que serán los valores que se deben combinar en el punto óptimo, y por último, una serie de restricciones, que serán las condiciones que esta combinación final debe cumplir.

Kuri, J. (2011), reporta que es posible diseñar modelos matemáticos para simulación, y en problemas complejos éstos pueden ser más económicos y existe una gran variedad de este tipo de modelos orientados a encontrar soluciones óptimas (programación matemática). En general, los modelos matemáticos de sistemas estáticos (que no varían con el tiempo), consisten de ecuaciones algebraicas, mientras que las representaciones matemáticas de sistemas dinámicos y leyes físicas se integran mediante ecuaciones diferenciales.

Además, indica que la secuencia del desarrollo de un modelo matemático consta de seis etapas que a continuación se describen:

- La primera etapa se hace una descripción del fenómeno, planteándose las variables que intervienen y las hipótesis del comportamiento de la misma.
- En la segunda etapa se plantean las ecuaciones que describen matemáticamente el fenómeno (modelo matemático), las condiciones de frontera y la variabilidad de solución.
- La tercera etapa consiste en seleccionar el método de solución del modelo matemático, es decir la elección del algoritmo de cálculo.
- En la cuarta etapa, la programación del algoritmo de cálculo para una computadora.
- La calibración, verificación y validación del modelo corresponde a la quinta etapa.
- Por último. La sexta etapa corresponde a la explotación del modelo, es decir, la utilización del mismo con base en datos de campo, de experimentos en laboratorios o de supuestos para obtener predicciones.

3. Elementos de un modelo

Un modelo contiene los siguientes elementos:

a. Parámetros

Kuri, J. (2011), indica que los parámetros en el modelo son objetos o símbolos que representan a entidades o atribuciones del sistema que permanecen constantes durante el estudio.

De acuerdo a Dorado C. (2011), los parámetros son cantidades a las cuales el operador del modelo puede asignarle valores arbitrarios lo cual se diferencia de las variables. Los parámetros una vez establecidos se convierten en constantes.

b. Variables

Kuri, J. (2011), reporta que las variables son objetos o símbolos en el modelo, que representan a entidades o atributos del sistema que cambian en el tiempo durante el estudio.

Almoguera, J. (2007), manifiesta que se debe distinguir tres tipos de variables en función de su propio cometido en el modelo: variables de estado, variables de flujo y variables auxiliares.

- Las variables de estado o también llamadas de nivel representan la acumulación en el tiempo de una cierta magnitud. Son las variables de estado del sistema, ya que los valores que toman determinan la situación en la que se encuentra el sistema.
- Las variables de flujo expresan de manera explícita la variación por unidad de tiempo de los niveles. Pensar en un cierto nivel de agua en un depósito y en un grifo que lo abastece es una buena metáfora para mejor comprender los significados respectivos de estos dos tipos de variable: el nivel sería el depósito de agua y el flujo sería el caudal de agua que sale por dicho grifo.
- Las variables auxiliares son, como su nombre indica, variables de ayuda en el modelo. Su papel auxiliar consiste en colaborar en la definición de las variables de flujo y en documentar el modelo haciéndolo más comprensible.

No es siempre inmediato decidir cuál de los tres tipos será el apropiado para representar a un elemento determinado del sistema real en estudio.

c. Relaciones funcionales

Las Relaciones funcionales según Kuri, J. (2011), son los procesos físicos o las relaciones entre los símbolos de un modelo, que representan a las actividades y a las relaciones entre los elementos de un sistema. Describen la forma en que cambian las variables y como las afectan los parámetros. Por otra parte los modelos de decisiones tienen dos partes: una función objetivo y un conjunto de una o más restricciones. Una función objetivo es una ecuación que tiene la forma siguiente:

Rendimiento del sistema (P) = alguna relación (f) entre variables controladas (C) y variables no controladas (U)

o bien $P = f(C, U)$

Las variables controladas son las que puede manipular quien toma las decisiones. Las variables no controladas son las que no se sujetan al control de el o los que toman las decisiones.

Dorado C. (2011), señala que las relaciones funcionales pueden ser de tipo determinísticos o estocásticos.

- Determinísticas: Sus definiciones que relacionan ciertas variables o parámetros donde una salida del proceso es singularmente determinada por una entrada dada.
- Estocásticas: Cuando el proceso tiene una salida indefinida, para una entrada determinada las relaciones funcionales se representan por ecuaciones matemáticas y salen del análisis estadístico matemático.

d. Diagramas causales

Almoguera, J. (2007), reporta que los primeros estadios de la conceptualización de un modelo requieren definir el propósito del mismo. En función de ello hay que decidir qué elementos han de ser tomados en consideración y cuáles de entre ellos están relacionados de forma que lo que ocurre en uno afecta de manera inmediata al otro. Una variable aumentará o disminuirá en función de que otra, de la cual depende, experimente algún tipo de variación. Una forma natural de representar elementos y relaciones es mediante un grafo orientado.

Establecer un grafo en el que aparezcan representados todos los elementos que componen el modelo junto con sus relaciones supone un paso importante en la definición de la estructura del mismo. Un grafo de esas características se conoce como diagrama causal o de flujos.

4. Simulación

En <http://www.uniboyaca.edu.co>. (2011), se señala que "Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo".

Pero a su vez, también indica que una definición más formal es: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema". Por su uso suelen utilizarse en las siguientes tres áreas:

- Simulación. De situaciones medibles de manera precisa o aleatoria, por ejemplo con aspectos de programación lineal cuando es de manera precisa, y probabilística o heurística cuando es aleatorio.

- Optimización. Para determinar el punto exacto para resolver alguna problemática administrativa, de producción, o cualquier otra situación. Cuando la optimización es entera o no lineal, combinada, se refiere a modelos matemáticos poco predecibles, pero que pueden acoplarse a alguna alternativa existente y aproximada en su cuantificación.
- Control. Para saber con precisión como está algo en una organización, investigación, área de operación, etc.

5. Desventajas y ventajas de la simulación

a. Desventajas

Según <http://www.uniboyaca.edu.co>. (2011), los modelos de simulación presentan las siguientes desventajas:

- Una de ellas es que al empezar a simular podemos interferir en las operaciones del sistema
- No todas las condiciones son continuas para el sistema
- Difícil obtener siempre el mismo tamaño de muestra, estos sistemas toman muestras tan grandes que pueden ser mucho más costosos
- Explorar todas las alternativas o todas las variantes que pueden existir dentro del sistema
- Los modelos de simulación no generan soluciones ni respuestas a ciertas preguntas

b. Ventajas

Con respecto a las ventajas de la elaboración de los modelos de simulación <http://www.uniboyaca.edu.co>. (2011), anota las siguientes:

- Cuando no se tiene el modelo matemático definido
- Permite una formulación exacta del sistema
- Cuando se tienen las fórmulas analíticas y se necesita un modelo para

ponerlas a funcionar

- El costo o la corrida de un modelo no es costosa
- Cuando al ver un proceso físico, el cual se quiere conocer, la simulación es la única forma (posibilidad), que se tiene para conocer el comportamiento de un proceso real
- Cuando se requiere acelerar o retrasar el tiempo de los procesos dentro de un sistema
- Cuando se quiere por medio de la simulación encontrar o hacer estudios y/o experimentos

6. Clasificación de los modelos de simulación

Existen diferentes tipos de modelos, en función de la finalidad para la cual se crean o diseñan. Sus clasificaciones son variadas, y buscan dar una idea de sus características esenciales; pueden ser en base a su dimensión, función, propósitos y grado de abstracción. Cada fenómeno de la realidad se puede representar por medio de un modelo; por lo cual, según el número y tipo de fenómenos existentes en el mundo real, será el número y tipo de modelos posibles (De Souza, L. y González. D. 2001).

a. Descriptivos

Describe las características del fenómeno en cuestión; emplea la observación sistemática y participante, encuestas, entrevistas, estudios etnográficos, entre otros (De Souza, L. y González. D. 2001).

b. Explicativos

Busca conocer las causas que originan un fenómeno. Llega a generalizaciones extensibles más allá de los sujetos analizados. Se basa en obtener muestras representativas de los sujetos, usa diseños experimentales para el control del experimento y el análisis de datos (De Souza, L. y González. D. 2001).

c. Predictivo

Se basa en datos anteriores y en técnicas específicas como regresión múltiple, procesos etnográficos, procesos estocásticos, simulación o análisis causal (De Souza, L. y González. D. 2001).

d. Estáticos

Cuando se representa un sistema en un solo instante de tiempo en particular, o bien para representar un sistema en donde el tiempo no es importante (Quinteros, M. et al. 2006).

e. Dinámicos

Representan sistemas en los que las variables son funciones del tiempo, permitiendo predecir su desarrollo en un periodo dado; este tipo de modelos es de gran importancia para representar procesos biológicos (Quinteros, M. et al. 2006).

f. Determinísticos

No consideran la variación estocástica, comportándose de manera probabilística, los datos de entrada y las relaciones existentes en el sistema son especificados al inicio, es decir, no influye el azar en los resultados (Quinteros, M. et al. 2006).

Dorado C. (2011), indica que ni las variables endógenas y exógenas se pueden tomar como datos al azar. Aquí se permite que las relaciones entre estas variables sean exactas o sea que no entren en ellas funciones de probabilidad. Este tipo determinístico quita menos de cómputo que otros modelos

g. Estocásticos

La modelación se realiza considerando que al menos una de las variables que definen el comportamiento del sistema se muestra aleatoria, y entonces el resultado es al menos en parte variable (Quinteros, M. et al. 2006).

7. Proceso de simulación

De acuerdo a Almoguera, J. (2007), la simulación por ordenador requiere cuatro tipos de actividades.

- La primera de ellas es la construcción del modelo, se trata de la fase de modelado.
- La segunda tarea consiste en la introducción del modelo en el ordenador y de asignar los valores más adecuados a cada uno de los parámetros que intervengan en el modelo, que es la fase de calibración.
- La tercera es la de validación del modelo, que consiste en comprobar si el modelo es capaz de generar los comportamientos característicos del sistema real, en caso de que se disponga de informaciones cuantitativas de la evolución del sistema real en el pasado, obteniendo así una cierta confianza en la validez del modelo.
- La cuarta actividad a realizar es la explotación del modelo de acuerdo con los objetivos que indicaron su construcción (aplicación). Ésta última se trata de la fase de simulación propiamente dicha.

Aunque estas fases estén siempre presentes en todo proceso de simulación por ordenador, se le asignará mayor importancia a una u otra, en función de los intereses concretos del investigador que recurre a la simulación por ordenador.

8. Validación del modelo

Kuri, J. (2011), indica que validar un modelo es asignar un nivel de certeza adecuada a los resultados del modelo, es decir, asegurarse de que contiene todos los parámetros, variables y relaciones funcionales necesarios para que de respuestas concretas. Para validar un modelo se utilizan, por lo general, tres pruebas:

- Se construye el modelo y se analiza para estar seguro de que tiene apariencia de certeza, es decir, que tiene parecido o describe al sistema original.
- Se efectúa una o más pruebas con el modelo y se pregunta si los resultados parecen razonables.
- Se busca directamente relacionada o involucrada en el sistema original y se le pide que compare los resultados del modelo con las respuestas actuales del sistema.

Almoguera, J. (2007), señala que la validación se hace contrastando los resultados obtenidos con el modelo, con una serie de datos bibliográficos, en la que algunos de estos datos pertenecen a otro modelo. Estos datos lógicamente no coincidirán con los utilizados para calibrar el modelo.

9. Simulación por computadora

<http://es.wikipedia.org>. (2011), reporta que una simulación por computadora o un modelo informatizado es un programa informático o una red de ordenadores cuyo fin es crear una simulación de un modelo abstracto de un determinado sistema. Las simulaciones por computadora se han convertido en una parte relevante y útil de los modelos matemáticos de muchos sistemas naturales de ciencias como la física, la astrofísica, la química y la biología; así como de sistemas humanos de economía, psicología y ciencias sociales. Además, se emplea en el diseño de nueva tecnología para llegar a comprender mejor su funcionamiento. Las simulaciones por computadora abarcan desde programas informáticos cuya ejecución dura unos minutos hasta conjuntos de ordenadores conectados en red cuya ejecución dura horas, e incluso hay simulaciones que se extienden varios días. La variedad de acontecimientos que se pueden recrear mediante simulaciones por computadora ha superado con creces las posibilidades del modelo matemático tradicional de lápiz y papel.

10. Software para la elaboración de modelos de simulación

Existen varios programas disponibles para la construcción elaboración de modelos de simulación, que se basan en la programación a partir del diagrama causal. Están todos pensados para que el usuario no necesite ser experto en informática y en programación, por lo que trabajan de forma visual. Para ello se dispone de una serie de elementos u objetos que representan los tres tipos de variables (nivel, flujo y auxiliares). Estos una vez combinados adecuadamente y definidos sus valores iniciales o las pequeñas funciones que los relacionan permitirán que el programa resuelva el problema, y presentará los resultados en forma de gráficos o tablas. Estos programas, aparte de las herramientas convencionales necesarias para el empleo de la metodología de dinámica de sistemas, ofrece la posibilidad de conectar los modelos que se apoyan en esta metodología con diferentes aplicaciones tales como hojas de cálculo o funciones externas programadas en lenguaje C (Almoguera, J. 2007).

11. Algunos modelos desarrollados para evaluar sistemas pecuarios

En fincas ganaderas, Holmann, F. (2000), utilizó un modelo de simulación, integrado por cinco submodelos, para predecir escenarios futuros, según diferentes estrategias de manejo forrajero; consideró factores claves como el costo de producción de leche, inversión requerida por cada estrategia, viabilidad de obtener y pagar el crédito, y porcentaje del área en pasturas liberada para usos alternativos. Este programa consiste únicamente en una hoja de cálculo, en donde se introducen restricciones a los diferentes factores. También permite analizar las actividades agropecuarias en forma práctica y flexible, a nivel de una cuenca o región, y facilita el análisis ex-ante de nuevas alternativas tecnológicas para determinar su viabilidad tanto biológica como económica, permitiendo conocer las condiciones necesarias para promover su uso en una determinada región.

Los cinco modelos empleados para representar y evaluar actividades ganaderas desarrollados por Holmann, F. (2000), son: 1) TAMU–Beef, predice el nivel de productividad (ganancia de peso), de diferentes categorías de animales dentro de

un hato productor de carne, considerando el potencial genético o como respuesta al tipo de la alimentación disponible; 2) JAVA/PC-Herd, desarrollado para el trópico, es un modelo simple que pide los requisitos de mantenimiento y ganancia de peso o producción de leche deseada, y lo compara contra la oferta de energía en la dieta, según una función de consumo voluntario seleccionada por el usuario; 3) CNCPS, predice la producción de leche o ganancia de peso, con base al flujo neto de carbohidratos y proteína disponible en la dieta, y contiene una lista de alimentos y forrajes para escoger el más parecido al utilizado; 4) GRAZFEED, predice la producción de leche, carne o lana con base en la oferta de nutrientes en la dieta, en hatos y rebaños mantenidos en pastoreo; y 5) EDINBURGH, es un modelo general de sistemas de producción de bovinos diseñado en forma modular, que integra producción de pasturas con respuesta animal en submodelos que pueden usarse en forma individual, y predice la producción de leche o carne tanto a nivel individual (por vaca), como de hato. Otro uso importante del modelaje en la ganadería es el que puede darse en salud animal, para modelar epidemias simples de forma determinista y estocástica, calcular la tasa de contacto e infección, y simular el desarrollo de estas epidemias en diferentes niveles geográficos (Chamorro, G. 2002). Esto tiene especial importancia para la planificación de campañas de salud animal ante la amenaza de diseminaciones masivas de enfermedades infecciosas.

Para obtener estimaciones biológicas en estudios del sistema ruminal de bovinos, Vargas, V. et al. (2004), proponen el modelo mecanístico Turix v1.0, el cual consta de ciertas suposiciones en cuanto al alimento, al funcionamiento del rumen y su variabilidad; se compone de 11 variables y tres submodelos: de degradación del alimento, del crecimiento bacteriano y de la fermentación microbiana. Con base en las pruebas de ajuste realizadas, se determinó que dicho modelo es una herramienta confiable para obtener información biológica en un sistema ruminal cerrado.

Por su parte, Rotz, C. et al. (2005), desarrollaron un modelo complejo y dinámico de simulación del ciclo de nitrógeno (N), en suelos ganaderos, considerando componentes de entrada, como el aporte de N orgánico de la fauna edáfica, el N fijado por herbáceas y por las heces del ganado, el N inorgánico de fertilizantes, N

fijado de la atmósfera y por orina del ganado, y componentes de salida, como productos de la ganadería y de herbáceas, amonio producido por herbáceas y oxidación y lixiviación de N inorgánico. Además, el modelo contempló la transformación de N inorgánico a orgánico, dentro del sistema.

Por otra parte, Castellaro, G. et al. (2006), utilizaron modelos matemáticos para representar la relación entre factores intrínsecos de ovinos, como el consumo, ganancia de peso y uso de suplemento, y factores de la pradera, como el balance hídrico, crecimiento y senescencia del forraje; posteriormente simulaban dinámicamente diferentes alternativas del uso de los componentes, con lo que obtuvieron diversas opciones para manejar el sistema. Los resultados fueron una buena predicción ($p < 0.05$), con respecto a datos experimentales, lo que indicó la validez del uso de modelos para representar los sistemas ganaderos a base de pastoreo.

12. Aplicación práctica de modelos de simulación en porcinos

Plá, L. et al. (2010), trabajó un modelo de simulación que representa la dinámica de las cerdas reproductoras en una granja. Para realizar aspectos pertinentes del modelo se consideró una aplicación real, para planear la producción de lechones. La contribución principal del modelo es que el manejo del rebaño está basado en lotes de cerdas en el mismo estado reproductivo, como se hace en realidad en la práctica. Estas características permiten medir la discrepancia con otros aproximaciones y comparar estrategias de manejo reproductivas diferentes en una vía más realista que usando otros métodos cuantitativos. Además, la ejecución en Extend permite que usuarios potenciales ejecuten eficientemente diferentes tipos de análisis rastreando las variables de su propio interés. El modelo de simulación era puesto en práctica en Extend, una herramienta de simulación interactiva. Las estructuras ejemplares están presentes en la figura 1. Elementos principales del modelo son: el bloque de parámetros generales y el bloque de las reproductoras de una granja. Las observaciones de estas simulaciones eran reunidas, y comparadas por una prueba de diferencias entre medias de dos muestras. No se encontró ninguna diferencia significativa. Sin embargo se observó una mayor variabilidad cuando se hizo el manejo de lote. El

modelo de simulación descrito aquí representa un acercamiento práctico para planear la producción de lechones bajo diferentes estrategias de manejo de granja. Es más flexible y exacto que acercamientos deterministas o estacionarios, esencialmente porque mejora las capturas la dinámica de la producción de cerda y proceso de reproducción.

Ezcurra, X. et al. (2010), para optimizar los recursos económicos de la producción porcina y mejorar los rendimientos de las diferentes explotaciones desarrollaron una gran número de modelos matemáticos, la mayor parte se han centrado en explotaciones de madres, otras actividades como la recría o el engorde no han recibido tanto interés. El reemplazamiento o reposición es otro de los problemas que han centrado los estudios de modelización, así como la formulación de dietas. Existen trabajos puntuales sobre modelos interesados en valorar genéticamente a los animales. Otras herramientas no menospreciables que también ayudan a la toma de decisiones a nivel de explotación son las hojas de cálculo. La toma de decisiones en una explotación porcina la podríamos circunscribir en dos grandes ámbitos: técnico y económico. En el presente trabajo se describieron las características generales de los diferentes tipos de modelos, se realizó una recopilación bibliográfica de los modelos más empleados en la producción porcina, los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente para definir las áreas más modeladas así como el impacto económico en la optimización de la producción porcina. Se realizó un análisis del beneficio medio de una explotación porcina de ciclo cerrado según el precio anual medio correspondiente a los cinco mejores y peores años registrados en Mercolleida. Se concluye un cambio en las herramientas actuales utilizadas para la toma de decisiones acompañado de nuevos modelos matemáticos. La adaptación de los modelos actuales a condiciones reales aumentando su adopción por parte de los productores.

Navarro, R. et al. (2010), presentaron un modelo aleatorio y dinámico para simular la productividad de un hato de cerdos. El modelo completo incluye dos modelos parciales, uno que representa el comportamiento genético de las características cuantitativas y otro que simula el desarrollo del hato en el tiempo. los valores fenotípicos se simulan con el modelo genético. Cada valor resulta de la suma de: 1) la media, 2) el efecto aleatorio del genotipo individual, 3) la influencia del

genotipo de los padres, 4) el efecto aleatorio del medio ambiente general y 5) el efecto aleatorio de los factores de medio ambiente comunes a los hermanos de camada. El modelo que simula el comportamiento del hato en el tiempo emplea estimadores de los parámetros de producción obtenidos en granjas porcinas de México. Para la validación del modelo se usó el método de la verificación histórica. El modelo arrojó resultados congruentes con los parámetros iniciales y con la variabilidad esperada para cada tamaño de muestra, tanto en apareamiento aleatorio como al aplicar selección, incluso en la respuesta correlacionada para características no seleccionadas. Se considera que el modelo es una representación válida de un hato de cerdos, en especial del componente genético.(AU).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo experimental se realizó en la Unidad de Producción Porcina de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), que se encuentra ubicada en el cantón Riobamba, Panamericana sur Km 1½, a una altitud de 2.740 m.s.n.m., longitud 78° 40' Oeste y a una latitud de 01° 38' Sur

El trabajo experimental tuvo una duración de 180 días, distribuidos en la recolección de la información, diseño y montaje del modelo de simulación UPP – ESPOCH, así como en su validación.

B. UNIDADES EXPERIMENTALES

Como unidades experimentales se consideran los registros productivos y reproductivos de la Unidad de Producción Porcina de la ESPOCH, los mismos que sirvieron de base para el diseño, montaje y elaboración del modelo de simulación UPP-ESPOCH.

C. EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos y materiales que se utilizaron en el presente trabajo fueron los siguientes:

- Registros productivos y reproductivos
- Computadora personal
- Impresora
- Material de Oficina
- Cámara fotográfica
- Material de oficina
- CDs
- Memoria USB
- Software Microsoft Office y Oracle version 10G

D. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo por tratarse de de la elaboración de un modelo de simulación matemático y predictor UPP-ESPOCH, no existieron tratamientos experimentales ni diseño experimental, ya que el modelo de simulación se basa en formulismos matemáticos para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones.

E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

Las variables que se consideraron en la elaboración del modelo de simulación UPP-ESPOCH, se dividieron por categorías:

- Registros: reproductivos, productivos, alimenticios y económicos
- Evolución de la piara donde se toma en cuenta: número de partos por cerda/año el tamaño de camada al nacimiento, duración de la lactancia, celo postdestete, duración de la gestación, porcentaje de fertilidad, mortalidad de lechones, mortalidad de adultos, descartes de machos y hembras.
- Formulación de dietas, considerándose el ingreso de materias primas, su composición nutritiva y sus costos
- Valoración económica, que permite calcular el costo del animal considerándose los costos fijos y variables.

F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la elaboración del modelo de simulación matemático UPP-ESPOCH: se utilizaron propuestos matemáticos para expresar las relaciones entre variables, utilizándose la estadística descriptiva en base a las medias y desviación estándar y ecuaciones de predicción apoyadas en el análisis de la regresión lineal.

G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la construcción del modelo de simulación matemático UPP-ESPOCH, se realizaron las siguientes actividades:

Su elaboración requirió de modelizaciones matemáticas en hojas de cálculos traducidas luego, a un programa sumamente sencillo, con interfaz gráfica y amigable, que funciona bajo entorno Windows en cualquiera de sus versiones y que requiere para su uso mínimos conocimientos informáticos.

En los modelos matemáticos se consideraron variables productivas, comerciales, financieras y económicas posibles de concurrir en manejos empresariales de sistemas de producción porcina, con alternativas de imputaciones fijas y/o variables en función de categorías, cantidades de animales, producción de lechones, producción global y ventas.

Algunas de las variables definidas sobre aspectos productivos fueron las relacionadas a la dinámica del rodeo o evolución de la piara como existencias, muertes, compras, ventas, duración del engorde, eficiencia reproductiva, tipo de reposición; a la alimentación como materias primas, consumos, conversiones, utilización de otros insumos; a sanidad e higiene como variables relacionadas a planes sanitarios por categoría e insumos de uso general; a los costos fijos del personal como tipo, tiempo de ocupación. En tanto sobre aspectos comerciales y financieros se tomaron variables como tipos de productos a vender, precios de productos y costos.

Para la validación del modelo se usó el método de la verificación histórica. El modelo arroja resultados congruentes con los parámetros iniciales y con la variabilidad esperada para cada tamaño de muestra, tanto en apareamiento aleatorio como al aplicar selección, incluso en la respuesta correlacionada para características no seleccionadas. Se considera que el modelo es una representación válida para la administración de un plantel porcícola.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El software Modelo de simulación matemático en la producción de cerdos UPP-ESPOCH (MSM-UPP-ESPOCH), es un programa que posibilita evaluar a través de un reducido número de indicadores sencillos de comprender por técnicos y productores el impacto económico de estrategias organizativas en empresas porcinas, tanto especializadas como diversificadas, simulando procesos productivos, comerciales y financieros, por lo que a continuación se hace una descripción de su contenido y de las actividades que realiza a través del proceso de simulación.

El MSM-UPP-ESPOCH, está elaborado en plataformas de las siguientes características: base de datos: Oracle versión 10G y ambiente de programación: Oracle Develo per 6

A. BARRAS DE MENÚ

El programa MSM-UPP-ESPOCH presenta una barra de menú con las opciones Archivo, Registro y Ayuda (gráfico 1).



Gráfico 1. Barra de menú del MSM-UPP-ESPOCH.

1. Menú Archivo

El menú archivo reúne controles para configurar la impresora, imprimir y salir del programa.

- Configurar Impresora: permite la configuración de las opciones de impresión.

- Imprimir: permite la impresión de la pantalla que se usa en ese momento.
- Salir: permite salir del modelo.

2. Menú registro

El menú registro posibilita el ingreso a las opciones de registro, evolución y tanteo:

- La opción registro posibilita el ingreso a la pantalla principal para ingresar los datos necesarios para realizar la simulación matemática, teniendo estas varias categorías: Planificación, Maternidad, Cubrición y control, gestación, hembras de reemplazo y postdestete (gráfico 2).
- La opción Evolución, permite el acceso a la pantalla de evolución (gráfico 3).
- La opción Tanteo.- Permite el acceso a las opciones de formulación de dietas (gráfico 4).

The screenshot displays the 'Etapas' software interface. At the top, there is a header with the university logo and the title 'Modelo de Simulación Matemático en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH'. Below the header, there is a table with the following data:

No.	Descripción	Fecha
1	MODELO 01	11/08/2010

Below the table, there is a dropdown menu set to 'PLANIFICACION' and a 'Calcular' button. The main interface is divided into tabs: 'Planificación', 'Maternidad', 'Cubrición y Control', 'Gestación', 'Hembras Reemplazo', and 'Post Deste'. The 'Planificación' tab is selected, showing the following input fields and values:

- Días Lactancia: 21
- Días Celos: 12
- Intervalo: 7
- Número Cerdas por Lote: 21 (with a checkmark icon)
- Num Cerdas Granja: 500
- # Animales Sitio: 500
- Número Cerdas por Lote: 24 (with a checkmark icon)

Gráfico 2. Opciones de registro del MSM-UPP-ESPOCH.

Evolución

Modelo de Simulación Matemático en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH

1
 Descripción: EVOLUCION1
 Fecha:

Parámetros			
Año	1	2	3
Tamaño de camada	9.50	9.50	50.00
Duración Lactancia	21.00	21.00	
Celo Post Destete	18.00	18.00	
Duración de la Gestación	114.00	114.00	
% de Fertilidad	0.83	0.85	0.00
Mortalidad Lechones	6.00	6.00	
Mortalidad Adultos	2.00	2.00	
Descarte Hembras	480.00	805.00	0.00
Descarte Machos	24.00	40.25	0.00
# Partos cerda año	2.39	2.39	3.20

CONCEPTO	1	2	3
Hembras	1,200.00	1,610.00	1,948.00
Hembras R	572.55	768.17	1,247.40
Machos	60.00	80.50	97.40
TOTAL	1,832.55	2,458.67	3,292.80
Total Entradas	23,819.92	32,589.33	-3,292.80
A. Nacimientos	22,663.40	30,874.52	0.00
Hembras	11,332.00	15,437.56	0.30
Machos	11,331.40	15,436.96	-0.30
B. Selección	1,141.52	1,699.80	-3,292.80
Hembras	40.70	53.76	-97.40
Machos	1,100.82	1,646.04	-3,195.40
C. Compras	15.00	15.00	0.00
Hembras	10.00	10.00	
Machos	5.00	5.00	
Total Salidas	23,193.80	31,755.19	0.00
A. Muertos	1,386.20	1,887.89	0.00

Gráfico 3. Opciones de evolución del MSM-UPP-ESPOCH.

Formulación de Dietas (Tanteo)

Modelo de Simulación Matemático en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH

Ingrediente	Cantidad	Costokg	Subtotal	Energia	Aporte	Proteina	Aporte	Grasa	Aporte
MAIZ	1,000.00	4.00	88.00	23.00	230.00	22.00	220.00	60.00	600.00
AFRECHO	80.00	0.18	14.40						
POLVILLO		0.18							
SOYA									
HARINA DE PESCADO									
ALFARINA									

Gráfico 4. Opciones de tanteo del MSM-UPP-ESPOCH.

3. Menú Ayuda

El menú Ayuda permite desplegar información sobre el índice, teclas y error:

- Índice: despliega las propiedades del campo actual que se encuentra el cursor.
- Teclas: despliega las opciones más importantes que se pueden realizar usando el teclado (gráfico 5).
- Desplegar Error: muestra el último error en la barra de mensajes.

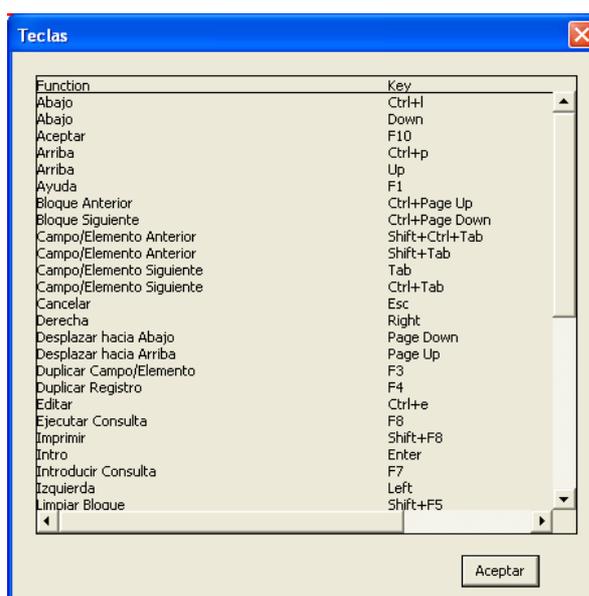


Gráfico 5. Opciones de teclas del MSM-UPP-ESPOCH.

B. MANEJO DE REGISTROS

En la actualidad la producción porcina no se concibe sin recolectar información básica como número de identificación, ingreso a la vida reproductiva, raza o composición genética, fecha de nacimiento, procedencia, fecha de baja, causa, tratamientos sanitarios, vacunaciones, información indispensable para tomar decisiones de manejo, sanitarias y de control de gestión con sus resultados económicos (Ricaurte, S. 2007), por consiguiente en la construcción del programa MSM-UPP-ESPOCH, se dio importancia a este aspecto.

Al ingresar a las opciones de registro, todas las pantallas tienen una barra de herramientas que tiene las opciones que se representan en el gráfico 6.

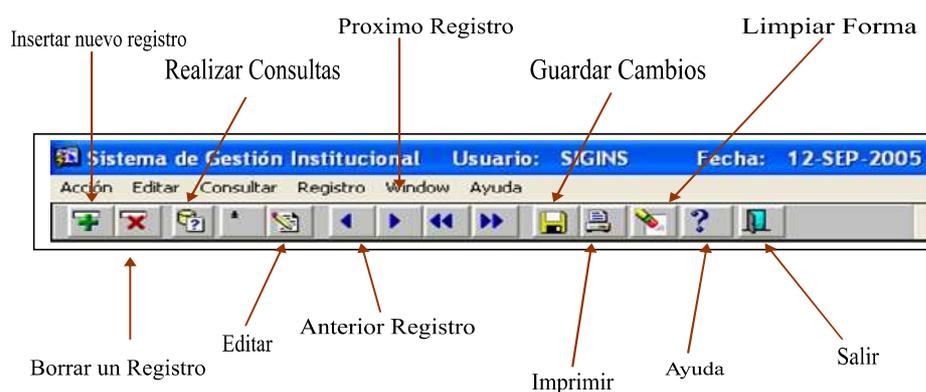


Gráfico 6. Barra de herramientas del MSM-UPP-ESPOCH.

1. Etapas (Planificación)

En la explotación del cerdo es de gran importancia conocer las diferentes etapas productivas en la producción porcina, ya que cada una tiene características especiales de manejo, lo que a futuro determinarán los beneficios o pérdidas de tipo económico (Carrero, H. 2010).

Al ingresar a esta opción, se visualiza una cabecera que permite realizar varios modelos (gráfico 7). Una de las ventajas de este modelo es que se pueden realizar varias simulaciones de valores y almacenarlas en base de datos. Se ingresa una descripción para explicar el detalle del modelo que se piensa almacenar y tener referencia para los cálculos. Luego se graba con el botón del mismo nombre que está en la barra de herramientas o se presiona la tecla funcional F10.

No.	Descripción	Fecha
1	MODELO 01	11/08/2010

PLANIFICACION [v] Calcular

Planificación | Maternidad | Cubrición y Control | Gestación | Hembras Reemplazo | Post Deste

Número Lotes

Días Lactancia: 21
 Días Celo: 12
 Intervalo: 7

[checkbox] 21

Número Cerdas por Lote

Num Cerdas Granja: 250
 # Animales Sitio: 500

[checkbox] 12

Gráfico 7. Opciones del manejo de registros por etapas del MSM-UPP-ESPOCH.

Luego de ingresar el número de modelo y descripción en la cabecera, se puede

escoger la etapa respectiva cambiando en la lista a las opciones determinadas, como se observa en el gráfico 8.



Gráfico 8. Opciones de etapas del MSM-UPP-ESPOCH.

Al cambiar las opciones las pantallas inferiores irán cambiando y posicionándose en las opciones respectivas en la cuales se ingresaran los datos para que el sistema calcule automáticamente.

Al ingresar los valores en los pasos de las etapas respectivas, se pueden obtener los cálculos respectivos al presionar el botón calcular

Tomando como referencia los datos que se observan en el gráfico 7 (pág. 47), respecto a los aspectos de planificación, se nota, que cuando se ingresa los días de lactancia, los días de celo y el intervalo, el modelo calcula el número de lotes.

De igual manera al ingresar el número de cerdas en la granja y el número de animales por sitio, el modelo me da el resultado del número de cerdas por lote.

Otra de las categorías son los aspectos reproductivos, en cuyos registros se puede ingresar datos referentes a la fertilidad, mortalidad y tamaño de la camada nacimiento, datos que son necesarios para calcular o proyectar la evolución de la piara.

2. Evolución de la piara

Para realizar la proyección de la evolución de la piara, se puede acceder desde la categoría de aspectos reproductivos, en la opción tamaño camada nacimiento existe la opción de Evolución de Piara (gráfico 9), que nos llevará a otra pantalla como la que se observa en el gráfico 10.

The screenshot shows a software window titled 'Etapas' with a blue header. Below the header is a banner with the text 'Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos'. The main interface includes a table with columns 'No.', 'Descripción', and 'Fecha'. The first row contains '1', 'MODELO 01', and '11/08/2010'. Below this table is a dropdown menu set to 'ASPECTOS REPRODUCTIVOS' and a 'Calcular' button. A secondary navigation bar contains 'Fertilidad', 'Mortalidad', and 'Tamaño Camada Nacimiento'. The 'Tamaño Camada Nacimiento' section contains a table with columns 'Descripción' and 'Cantidad':

Descripción	Cantidad
AA	2
BB	3
CC	5
# 3	Promedio 3.3333

Below this table is the 'Tamaño Camada Destete' section, which includes a 'Porcentaje Mortalidad en Lactancia' field set to '9'. At the bottom, the 'Evolución de Piara' option is highlighted with a red circle and a small icon.

Gráfico 9. Opción para acceder a la evolución de la piara mediante el MSM-UPP-ESPOCH.

Dentro de la pantalla de Evolución de Piara, en la parte izquierda están los parámetros con opción a ingresar 5 años, mediante los cuales en la derecha se realizan los cálculos necesarios y realiza la proyección correspondiente.

Los datos necesarios a ingresar son tamaño de la camada, duración de la lactancia, celo postdestete, duración de la gestación, porcentaje de fertilidad, mortalidad de lechones, mortalidad de adultos, descarte de hembras, descarte de machos, número de partos/cerda/año, hembras de reemplazo, hembras gestantes, hembras cubiertas, descarte de hembras, descarte de machos.

Modelo de Simulación Matemático en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH			
#	1		
Descripción	EVOLUCION1		
Fecha			
Parámetros			
Año	1	2	3
Tamaño de camada	9.50	9.50	50.00
Duración Lactancia	21.00	21.00	
Celo Post Destete	18.00	18.00	
Duración de la Gestación	114.00	114.00	
% de Fertilidad	0.83	0.85	0.00
Mortalidad Lechones	6.00	6.00	
Mortalidad Adultos	2.00	2.00	
Descarte Hembras	480.00	805.00	0.00
Descarte Machos	24.00	40.25	0.00
# Partos cerda año	2.39	2.39	3.20
Hembras Reemplazo	572.55	768.17	1,247.40
Hembras Gestantes	1,000.00	1,100.00	
Hembras Cubiertas	1,200.00	1,300.00	
Descarte Hembra	40.00	50.00	
Descarte Macho	40.00	50.00	
RESULTADOS ----->			
CONCEPTO	1	2	3
Hembras	1,200.00	1,610.00	1,948.00
Hembras R	572.55	768.17	1,247.40
Machos	60.00	80.50	97.40
TOTAL	1,832.55	2,458.67	3,292.80
Total Entradas	23,819.92	32,589.33	-3,292.80
A. Nacimientos	22,663.40	30,874.52	0.00
Hembras	11,332.00	15,437.56	0.30
Machos	11,331.40	15,436.96	-0.30
B. Selección	1,141.52	1,699.80	-3,292.80
Hembras	40.70	53.76	-97.40
Machos	1,100.82	1,646.04	-3,195.40
C. Compras	15.00	15.00	0.00
Hembras	10.00	10.00	
Machos	5.00	5.00	
Total Salidas	23,193.80	31,755.19	0.00
A. Muertos	1,386.20	1,887.89	0.00
Lechones	1,359.80	1,852.47	0.00
Hembras	24.00	32.20	0.00
Hembras R	1.20	1.61	0.00
Machos	1.20	1.61	0.00
B. Ventas	20,666.07	28,167.50	3,292.80
Descarte Hembras	480.00	805.00	0.00
Descarte Machos	24.00	40.25	0.00
E.L.	20,162.07	27,322.25	3,292.80
C. Reemplazo	1,141.52	1,699.80	-3,292.80

Gráfico 10. Proyección de la evolución de la piara mediante el MSM-UPP-ESPOCH.

3. Aspectos Productivos

Dentro de la categoría de aspectos productivos, el modelo de simulación UPP-ESPOCH, presenta varios grupos de registros los cuales permiten datos de varias cerdas para que calcule los promedios (gráfico 11). Dentro de estos grupos tenemos:

- Peso al nacimiento
- Peso al destete
- Peso al mercado
- Peso a la pubertad
- Peso antes del parto
- Peso luego del parto

Etapas

Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos

No. Descripción Fecha
1 MODELO 01 11/08/2010

ASPECTOS PRODUCTIVOS Calcular

Aspectos Productivos

Pesos al Nacimiento

Descripción	Cantidad
AA	2
BB	3
CC	5
Peso Camada	10
Promedio	133333

Peso al Mercado

Descripción	Cantidad
	34
	45
Peso Camada	79
Promedio	39.5

Peso antes Parto

Descripción	Cantidad
	44
	53
Peso Camada	97
Promedio	48.5

Peso Destete

Descripción	Cantidad
	33
	44
Peso Camada	77
Promedio	38.5

Peso a la Pubertad

Descripción	Cantidad
	88
	9
Peso Camada	97
Promedio	48.5

Peso Juego Parto

Descripción	Cantidad
	123
	43
Peso Camada	166
Promedio	83

Gráfico 11. Opciones de aspectos productivos en el MSM-UPP-ESPOCH.

4. Aspectos alimenticios

Dentro de aspectos alimenticios se realizan los cálculos necesarios, a través del ingreso del consumo diario, número de animales y duración del período o tiempo (gráfico 12).

Etapas

Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos

No. Descripción Fecha
1 MODELO 01 11/08/2010

ASPECTOS ALIMENTICIOS Calcular

Aspectos Alimenticios

Consumo Alimento Concentrado

	CONSUMO DIARIO	# ANIMALES	# DIAS	TOTAL
Lechones Lactancia	1	2	3	6
Lechones Postdestete	4	3	2	24
Terminación	2	3	2	12
Cubrición y Control	4	2	3	24
Gestación	5	6	8	240
Lactancia	2	7	8	112
Verracos	6	2	5	60

Calcular

Ir a composición química **Composición Química**

Gráfico 12. Opciones de aspectos alimenticios en el MSM-UPP-ESPOCH.

También a través de esta opción, al presionar el botón Composición Química, permite conocer y añadir nuevos ingredientes o materias primas, en base a su composición nutritiva, los costos y la cantidad (gráfico 13), datos que luego son necesarios al momento de establecer los costos variables en la evaluación económica.



The screenshot shows a software window titled 'Formulación de Dietas (Tanteo)' with a subtitle 'Modelo de Simulación Matemático en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH'. It displays a table with the following data:

Ingrediente	Cantidad	Costokg	Subtotal	Energía	Aporte	Proteína	Aporte	Grasa	Aporte
MAIZ	1,000.00	4.00	88.00	23.00	230.00	22.00	220.00	60.00	600.00
AFRECHO	80.00	0.18	14.40						
POLVILLO		0.18							
SOYA									
HARINA DE PESCADO									
ALFARINA									

Gráfico 13. Detalle de las materias primas alimenticias en el MSM-UPP-ESPOCH.

5. Aspectos Económicos

En la opción de aspectos económicos se presenta dos apartados, el de costos fijos donde se pueden imputar datos sobre las depreciaciones, costos administrativos, impuestos y gastos en mantenimiento (gráfico 14), teniendo este último una ventana adicional para ingresar el detalle de los gastos de mantenimiento (gráfico 15).

En cambio, en los costos variables, se ingresa los datos alimentación, sanidad, en base al plan sanitario de la granja, los gastos en desinfectantes y principalmente la mano de obra, en el que se incluyen el sueldo, décimo tercero, décimo cuarto, fondos de reserva y aporte al IESS; incluyéndose además otros gastos de mano de obra como los gastos operativos, reparación y mantenimiento (gráfico 16).

Costos Fijos		Costos Variables	
Depreciación			
Costo Bien	20,000.00	Valor Salvamento	2,000.00
Años Vida Util	20.00	Num Cerdas Año	500
Valor Vehículo	8,000.00	% Depreciación	8.00
		<input checked="" type="checkbox"/>	900.00
		<input checked="" type="checkbox"/>	640
Gastos Administrativos			
SECRETARIA	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	Total
AGUA	336.00		
# Gastos	4	# Gastos	1,272.00
Impuestos			
Valor Impuestos	80.00	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00
Mantenimiento			
Detalle de mantenimiento		<input checked="" type="checkbox"/>	368.00
Costos Fijos			3,260.00

Gráfico 14. Opciones de los costos fijos en el MSM-UPP-ESPOCH.

Detalle mantenimiento	
Descripción	Valor Activo
LIMPIEZA	288.00
PINTURA	80.00
	368.00
Cerrar	

Gráfico 15. Opciones del detalle de costos de mantenimiento en el MSM-UPP-ESPOCH.

Costos Fijos		Costos Variables	
Alimentación			
		<input checked="" type="checkbox"/>	7,265.00
Sanidad			
Plan Sanitario		<input checked="" type="checkbox"/>	2,659.20
Desinfectantes			
Desinfectantes	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00
Mano de Obra			
Sueldo	Decimo Tercero	Decimo Cuarto	Fondos Reserva
3,168.00	264.00	264.00	264.00
			Aporte Iess
			380.16
		<input checked="" type="checkbox"/>	4340.16
Operativos	Reparación	Mantenimiento	
355.20	225.00	105.00	
			Costos Variables
			14,949.56
COSTO TOTAL CERDO			
Costos Fijos + Costos Variables	18,209.56	Num Lechones	800
		Valor para producir lechón	22.76

Gráfico 16. Opciones de los costos variables en el MSM-UPP-ESPOCH.

Conocidos todos los costos, tanto fijos como variables y el número de lechones producidos, el modelo elaborado, permite calcular los costos de producción por lechón.

En tal razón, conociendo el programa de modelo de simulación matemático en la producción de cerdos UPP-ESPOCH (MSM-UPP-ESPOCH), se puede asegurar que este modelo desarrollado permite optimizar los recursos económicos de la producción porcina y mejorar los rendimientos de las diferentes explotaciones, por cuanto para mejorar la toma de decisiones en una explotación porcina al modelo se le circunscribió en dos grandes ámbitos: el técnico y el económico, enunciado que concuerda con lo señalado por Gormley, H. y Sinclair, L. (2003), quienes indican que en el desarrollo de la ciencia se han diseñado y aplicado modelos durante siglos en diferentes disciplinas; sin embargo, los relacionados con los procesos agrícolas y ambientales se han implementado en las últimas décadas. Esto obedece a que en diferentes situaciones es más fácil trabajar con los modelos que con los sistemas reales, ya sea porque el sistema es demasiado grande y complejo, por limitación de recursos humanos y económicos, o por la imposibilidad de experimentar en dichos sistemas.

Es por esto que en la investigación y planificación pecuaria, el desarrollo de modelos para simular diferentes procesos relacionados con su eficiencia, se ha convertido en una práctica común que, sustentada con la información científica disponible, es útil para pronosticar resultados en situaciones y condiciones específicas; lo que permite plantear nuevas hipótesis y orientar la investigación o el manejo hacia los puntos más críticos.

V. CONCLUSIONES

- El programa modelo de simulación matemático en la producción de cerdos UPP-ESPOCH (MSM-UPP-ESPOCH), desarrollado bajo las premisas de simplicidad y flexibilidad destinado a apoyar en forma específica el manejo y control económico de la producción porcina, opera con datos posibles de ser cuantificados por técnicos y/o productores, con o sin conocimientos de informática, permitiendo simular innumerables organizaciones productivas, comerciales y económicas que ocurren actualmente en estas empresas, evaluando económicamente sus resultados a través de un reducido número de indicadores sencillos de comprender.
- El MSM-UPP-ESPOCH, muestra con facilidad los eventos reproductivos y productivos en base a un ordenamiento y fácil manipulación de los registros, que se han dividido por categorías.
- De igual manera, en base a este modelo matemático, resulta sencillo realizar la proyección de la productividad de los cerdos a través de la evolución de la piara, ingresando parámetros que pueden ser mejorados y que sean alcanzables.
- Una de las partes más importante de este modelo, es que permite conocer con un alto grado de exactitud el costo por lechón producido, ya que lo realiza a través del análisis de los costos fijos y variables. Finalmente, posibilita generar informes sobre resultados y/o datos.

VI. RECOMENDACIONES

En base a la experiencia adquirida en el manejo del modelo de simulación matemático en la producción de cerdos UPP-ESPOCH (MSM-UPP-ESPOCH), se pueden realizar las siguientes recomendaciones:

- Utilizar el MSM-UPP-ESPOCH, en la Unidad de Producción Porcina de la ESPOCH, para conocer si el modelo propuesto responde a los parámetros técnicos que se manejan y de ser el caso tomar las medidas correctivas en cuanto a sus parámetros productivos y reproductivos para elevar los índices de productividad.
- Emplear el MSM-UPP-ESPOCH, en otras explotaciones porcícolas, sean estas pequeñas, medianas y grandes, a fin de validar este modelo para comprobar que tenga la capacidad de representar adecuadamente a los componentes e interacciones del sistema de explotación porcina.
- Continuar con el trabajo de la implementación del modelo de simulación matemático en la producción de cerdos, pero incrementando un modulo, que permita el cálculo y la elaboración de dietas alimenticias, para aprovechar el registro de las materias primas que posee el modelo actual.

VII. LITERATURA CITADA

1. ALMOGUERA, J. 2007. Modelo teórico agro-forestal para la simulación de sistemas adehesados. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. pp 54 – 65.
2. CASTELLARO, G., GOMPERTZ, G., AGUILAR, C., VERA, R. Y ALLENDE, R. 2006. Interacción de dos modelos de simulación para la evaluación de sistemas de producción ovina en el secano mediterráneo de Chile. Santiago, Chile. Edit. Ciencia e Investigación Agraria. pp 47-56.
3. CHAMORRO, G. 2002. Modelación matemática de epidemias simples. Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública, Chile. Nº 20 pp 161-183.
4. EZCURRA, X., BABOT, D., FERNÁNDEZ, Y., FERNÁNDEZ, A. Y MORALES, A. 2010. Modelización en sistemas de producción porcina. Memorias del IV Seminario Internacional sobre Porcicultura Tropical La Habana, Cuba. Desarrollado del 25 al 28 de mayo del 2010. Sociedad Cubana de Porcicultura. p 97.
5. FLORES, L. 2008. Texto básico de Producción porcina. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. pp 60-65.
6. GARCÍA, J. 2004. Sysware. Barcelona, España. Edit. ISBN 84-609-2462-9. 315 p.
7. GARCÍA, J. 2008. Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. Fundación Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). Cataluña, España. 84 p.
8. GORMLEY, H. Y SINCLAIR, L. 2003. Modelaje participativo del impacto de los

árboles en la productividad de las fincas y la biodiversidad regional en paisajes fragmentados en América Latina. Revista Agroforestaría en las Américas. pp 103-108.

9. HOLMANN, F. 2000. El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú. Memorias XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Montevideo, Uruguay. 24 p.
10. <http://agrytec.com>. 2011. Miñoz, A. Porcicultura en Ecuador
11. <http://bases.bireme.br>. 2010. Navarro, R., Berruecos, J. y Vásquez, C. Simulación genética de un hato de cerdos.
12. <http://bibliotecamvz.blogspot.com>. 2010. Carrero, H. Manual de producción porcícola. Ministerio de la Protección Social. Servicio Nacional de Aprendizaje "SENA".
13. <http://es.wikipedia.org>. 2011. Simulación por computadora.
14. <http://www.bioalimentar.com.ec>. 2011. Manual de manejo de cerdos, Bioalimentar.
15. <http://www.ccba.uady.mx>. 2001. De Souza, L. y González. D. Modelo de desarrollo sustentable en una comunidad rural. Grupo para promover la educación y el desarrollo rural A.C. México, D.F.
16. <http://www.ccba.uady.mx>. 2011. Bernardino Candelaria, B., Ruiz. O., Gallardo, F., Pérez, P., Martínez, A. y Vargas, L. Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura. Posgrado en Agroecosistemas Tropicales. Veracruz, México.
17. <http://www.fao.org>. 2011. Manejo de cerdos. Cartilla tecnológica 23.

18. <http://www.ingenieria.unam.mx>. KURI, J. Modelos matemáticos, físicos y conceptuales. Su uso para el pronóstico Universidad Nacional Autónoma de México.
19. <http://www.monografias.com>. 2011. Dorado C. Simulación de sistemas.
20. <http://www.produccion-animal.com.ar>. 2007. Ricaurte, S. Manual de porcinos. Asociación Argentina Cabañeros de Porcinos.
21. <http://www.produccion-animal.com.ar>. 2011. Trolliet, J. Productividad numérica de la cerda factores y componentes que la afectan.
22. <http://www.uniboyaca.edu.co>. 2011. Modelos Matemáticos y Simulación. Universidad de Boyacá, Colombia.
23. <http://www.vensim.com>. 2004. Vargas, V., Ku, V., Vargas, F. y Medina, P. Modelo para la estimación de tres parámetros ruminales biológicos.
24. MÁRQUEZ, R. Y RAMÍREZ, V. 2010. Un modelo de simulación de la Producción de quesos madurados. Tesis de Grado. Escuela de Sistemas, Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Venezuela. Pp 10-65.
25. PÉREZ, M., DELFÍN, C., FREGOSO, A. Y COTLER, H. 2006. Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos. Revista Gaceta Ecológica. pp 65-84.
26. PÉREZ, O. 2011. Sistema de producción porcina. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Edit. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Texcoco, México. pp 1 – 8.
27. PLÁ, L., FLORES, V., RODRÍGUEZ, S. Y FERNÁNDEZ, Y. 2010. Un modelo de simulación para sistemas intensivos de producción de lechones. Memorias del IV Seminario Internacional sobre Porcicultura Tropical La

Habana, Cuba. Desarrollado del 25 al 28 de mayo del 2010. Sociedad Cubana de Porcicultura. p 96.

28. POMAR, C. Y BAILLEUL, P. Determinación de las necesidades nutricionales de los cerdos de engorde: Límites de los métodos actuales. XV Curso de Especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. Agriculture and Agri-Food Canada. Lennoxville, Quebec, Canadá. Archivo de Internet 99CAP10.pdf.
29. QUINTEROS, M., ALONSO, A., ESCUDERO, L., GUIGNARD, M. Y WEINTRAUB, A. 2006. Una aplicación de programación estocástica en un problema de gestión forestal. Revista Ingeniería de Sistemas, Chile. 20: 67-95.
30. ROTZ, C., BUCKMASTER, D. AND COMERFORD, J. 2005. A beef herd model for simulating feed intake, animal performance, and manure excretion in farm system. Journal Animal Science. pp 31-242.

ANEXOS

Anexo 1. Manual de usuario

MANUAL DE USUARIO

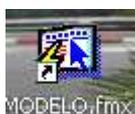
El Modelo de simulación matemático en la producción de cerdos está elaborado en plataformas de las siguientes características:

BASE DE DATOS: ORACLE versión 10G.

AMBIENTE DE PROGRAMACION: Oracle Develo per 6

ACCESO AL SISTEMA

Para el ingreso al sistema hay que dar doble clic sobre el acceso directo MODELO.fmx



Aparecerá el menú principal del sistema con la siguiente portada:

Principal

La portada del sistema presenta un encabezado con el logo de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y el texto 'ESPOCH' en grandes letras rojas. El título principal es 'MODELO DE SIMULACION MATEMATICO EN LA PRODUCCION DE CERDOS UPP-ESPOCH' en azul oscuro. Debajo del título, se menciona a la autora: 'AUTORA: ENRIQUETA DEL ROCIO MEJIA AREVALO'. Se listan también al director y asesor: 'DIRECTOR: ING. LUIS FLORES M. MC.' y 'ASESOR: ING. MANUEL ALMEIDA G. MC.'. En la parte inferior izquierda hay un logo de la Facultad de Ciencias Pecuarias. En la parte inferior derecha, se indica 'Developed by galo_castillo42@hotmail.com'.

Se encontrara un menú principal con las siguientes opciones

Archivo	Registro	Ayuda
Configurar Impresora	Registro	Indice
Imprimir	Evolución	Teclas
Salir	Tanteo	Desplegar Error

Menú Archivo.

Configurar Impresora.- Permite la configuración de las opciones de impresión.

Imprimir.- Permite la impresión de la pantalla que se usa en ese momento.

Salir.- Permite salir del modelo.

Menú Registro.

Registro.- Permite el ingreso a la pantalla principal de ingreso de datos para el modelo matemático.

Modelo de Simulación Matemático en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH

No.	Descripción	Fecha
1	MODELO 01	11/08/2010

PLANIFICACION [v] Calcular

Planificación | Maternidad | Cubrición y Control | Gestión | Hembras Reemplazo | Post Deste

Número Lotes

Días Lactancia: 21
Días Celos: 12
Intervalo: 7

Número Cerdas por Lote

Num Cerdas Granja: 500
Animales Sitio: 500

Evolución.- Permite el acceso a la pantalla de evolución.

Modelo de Simulación Matemático en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH

1
Descripción EVOLUCION1
Fecha

Parámetros

Año	1	2	3
Tamaño de camada	9.50	9.50	50.00
Duración Lactancia	21.00	21.00	
Celo Post Destete	18.00	18.00	
Duración de la Gestación	114.00	114.00	
% de Fertilidad	0.83	0.85	0.00
Mortalidad Lechones	6.00	6.00	
Mortalidad Adultos	2.00	2.00	
Descarte Hembras	480.00	805.00	0.00
Descarte Machos	24.00	40.25	0.00
# Partos cerda año	2.39	2.39	3.20

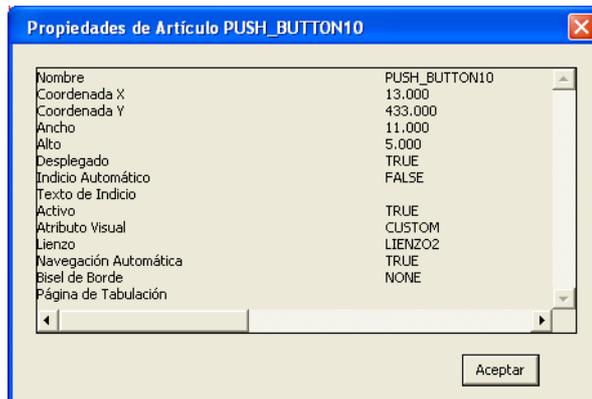
CONCEPTO	1	2	3
Hembras	1,200.00	1,610.00	1,948.00
Hembras R	572.55	768.17	1,247.40
Machos	60.00	80.50	97.40
TOTAL	1,832.55	2,458.67	3,292.80
Total Entradas	23,819.92	32,589.33	-3,292.80
A. Nacimientos	22,663.40	30,874.52	0.00
Hembras	11,332.00	15,437.56	0.30
Machos	11,331.40	15,436.96	-0.30
B. Selección	1,141.52	1,699.80	-3,292.80
Hembras	40.70	53.76	-97.40
Machos	1,100.82	1,646.04	-3,195.40
C. Compras	15.00	15.00	0.00
Hembras	10.00	10.00	
Machos	5.00	5.00	
Total Salidas	23,193.80	31,755.19	0.00
A. Muertos	1,386.20	1,887.89	0.00

Tanteo.- Permite el acceso a las opciones de tanteo.

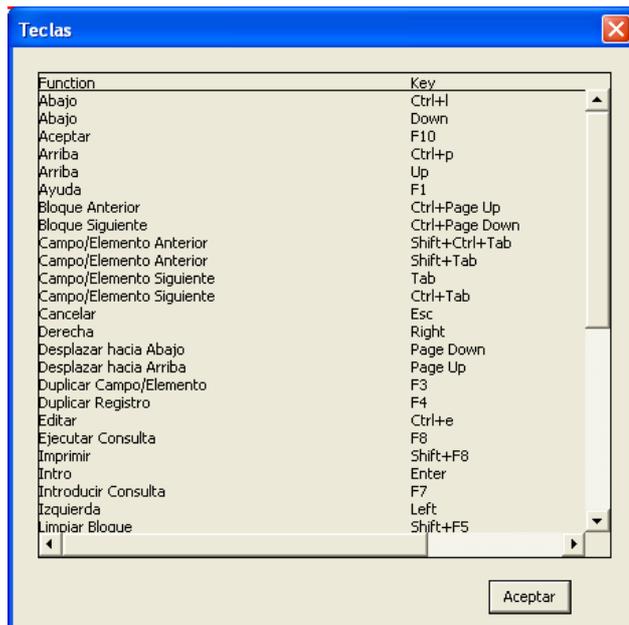
Ingrediente	Cantidad	Costokg	Subtotal	Energia	Aporte	Proteina	Aporte	Grasa	Aporte
MAIZ	1,000.00	4.00	88.00	23.00	230.00	22.00	220.00	60.00	600.00
AFRECHO	80.00	0.18	14.40						
POLVILLO		0.18							
SOYA									
HARINA DE PESCADO									
ALFARINA									

Menú Ayuda.

Índice.- Despliega las propiedades del campo actual que se encuentra el cursor.



Teclas.- Despliega las opciones más importantes que se pueden realizar usando el teclado.



Desplegar Error.- Muestra el último error en la barra de mensajes.



REGISTRO

Barra de Herramientas.- Todas las pantallas tienen una barra de herramientas que tiene las siguientes opciones que se describen a continuación:



Etapas.- Al ingresar a esta opción, se visualiza una cabecera que permite realizar varios modelos. Una de las ventajas de este modelo es que se pueden realizar varias simulaciones de valores y almacenarlas en base de datos. Se ingresa una descripción para explicar el detalle del modelo que se piensa almacenar y tener referencia para los cálculos. Luego se graba con el botón del mismo nombre que está en la barra de herramientas o se presiona la tecla funcional F10.

Escoger Etapa.- Luego de ingresar el número de modelo y descripción en la cabecera, se puede escoger la etapa respectiva cambiando en la lista a las opciones determinadas así:

Al cambiar las opciones las pantallas inferiores irán cambiando y posicionándose en las opciones respectivas en las cuales se ingresarán los datos para que el sistema calcule automáticamente.

Al ingresar los valores en los pasos de las etapas respectivas, se pueden obtener los cálculos respectivos al presionar el botón calcular:



Etapas

Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos

No. 1 Descripción MODELO 01 Fecha 11/08/2010

PLANIFICACION [Calcular]

Pasos de la Etapa: **Planificación** | Maternidad | Cubrición y Control | Gestación | Hembras Reemplazo | Post Deste [Navegación]

Número Lotes

Dias Lactancia 21
 Dias Celo 12
 Intervalo 7

Calcular 21

Número Cerdas por Lote

Num Cerdas Granja 250

Calcular 12

Animales Sitio 500

Evolución de Piara.- Dentro de la etapa de ASPECTOS REPRODUCTIVOS, en el paso Tamaño Camada Nacimiento existe la opción de Evolucion de Piara que nos llevara a otra pantalla de la siguiente manera:

Etapas

Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos

No. 1 Descripción MODELO 01 Fecha 11/08/2010

ASPECTOS REPRODUCTIVOS [Calcular]

Fertilidad | Mortalidad | **Tamaño Camada Nacimiento**

Tamaño Camada Nacimiento

Descripción	Cantidad
AA	2
BB	3
CC	5
# 3	Promedio 3.3333

Calcular 3

Tamaño Camada Destete

Porcentaje Mortalidad en Lactancia 9

Calcular 3

Evolución de Piara

Dentro de la pantalla de Evolución de Piara, en la parte derecha están los parametros con opcion a ingresar 5 años, mediante los cuales en la derecha se realizan los calculos

Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos UPP - ESPOCH

1
 Descripción EVOLUCION1
 Fecha

Parámetros

Año	1	2	3
Tamaño de camada	9.50	9.50	50.00
Duración Lactancia	21.00	21.00	
Celo Post Destete	18.00	18.00	
Duración de la Gestación	114.00	114.00	
% de Fertilidad	0.83	0.85	0.00
Mortalidad Lechones	6.00	6.00	
Mortalidad Adultos	2.00	2.00	
Descarte Hembras	480.00	805.00	0.00
Descarte Machos	24.00	40.25	0.00
# Partos cerda año	2.39	2.39	3.20
Hembras Reemplazo	572.55	768.17	1,247.40
Hembras Gestantes	1,000.00	1,100.00	
Hembras Cubiertas	1,200.00	1,300.00	
Descarte Hembra	40.00	50.00	
Descarte Macho	40.00	50.00	

RESULTADOS ----->

CONCEPTO	1	2	3
Hembras	1,200.00	1,610.00	1,948.00
Hembras R	572.55	768.17	1,247.40
Machos	60.00	80.50	97.40
TOTAL	1,832.55	2,458.67	3,292.80
Total Entradas	23,819.92	32,589.33	-3,292.80
A. Nacimientos	22,663.40	30,874.52	0.00
Hembras	11,332.00	15,437.56	0.30
Machos	11,331.40	15,436.96	-0.30
B. Selección	1,141.52	1,699.80	-3,292.80
Hembras	40.70	53.76	-97.40
Machos	1,100.82	1,646.04	-3,195.40
C. Compras	15.00	15.00	0.00
Hembras	10.00	10.00	
Machos	5.00	5.00	
Total Salidas	23,193.80	31,755.19	0.00
A. Muertos	1,386.20	1,887.89	0.00
Lechones	1,359.80	1,852.47	0.00
Hembras	24.00	32.20	0.00
Hembras R	1.20	1.61	0.00
Machos	1.20	1.61	0.00
B. Ventas	20,666.07	28,167.50	3,292.80
Descarte Hembras	480.00	805.00	0.00
Descarte Machos	24.00	40.25	0.00
E.L.	20,162.07	27,322.25	3,292.80
C. Reemplazo	1,141.52	1,699.80	-3,292.80

Aspectos Productivos.- Dentro de aspectos productivos se observaran varios grupos de registros los cuales calculan promedios y numero de ellos. Se ingresan datos y valores grabando cada uno y se obtienen los resultados esperados.

Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos

No. 1 Descripción MODELO 01 Fecha 11/08/2010

ASPECTOS PRODUCTIVOS [Calcular]

Aspectos Productivos

Peso al Nacimiento		Peso al Mercado		Peso antes Parto	
Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad
AA	2		34		44
BB	3		45		53
CC	5				
Peso Camada	10	Peso Camada	79	Peso Camada	97
Promedio	133333	Promedio	39.5	Promedio	48.5

Peso Destete		Peso a la Pubertad		Peso Juego Parto	
Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad
	33		88		123
	44		9		43
Peso Camada	77	Peso Camada	97	Peso Camada	166
Promedio	38.5	Promedio	48.5	Promedio	83

Composición Química.- Dentro de aspectos alimenticios se realizan los calculos de acuerdo al consumo diario, animales, dias parametros que se los ingresa manualmente y para obtener el resultado se presiona el boton calcular. Tambien se presiona el boton Composicion Quimica para ir a esta pantalla.

Modelo de Simulación Matemática en Producción de Cerdos

No.	Descripción	Fecha
1	MODELO 01	11/08/2010

ASPECTOS ALIMENTICIOS

Aspectos Alimenticios

Consumo Alimento Concentrado

	CONSUMO DIARIO	# ANIMALES	# DIAS	TOTAL
Lechones Lactancia	1	2	3	6
Lechones Postdestete	4	3	2	24
Terminación	2	3	2	12
Cubrición y Control	4	2	3	24
Gestación	5	6	8	240
Lactancia	2	7	8	112
Verracos	6	2	5	60

Calcular

Ir a composición química

Aspectos Económicos.- V alores con los cuales se determina el costo del animal. De la misma forma que en las pantallas anteriores se ingresan los valores y se calcula por medio del botón. Los activos se pueden calcular a traves del boton del mismo nombre.

Costos Fijos

Depreciación

Costo Bien	20,000.00	Valor Salvamento	2,000.00	<input checked="" type="checkbox"/>	900.00
Años Vida Util	20.00	Num Cerdas Año	500	<input checked="" type="checkbox"/>	640
Valor Vehiculo	8,000.00	% Depreciación	8.00		

Gastos Administrativos

SECRETARIA	0.00	Total	<input checked="" type="checkbox"/>	1,272.00
AGUA	336.00			
# Gastos	4	# Gastos	1,272.00	

Impuestos

Valor Impuestos	80.00	<input checked="" type="checkbox"/>	80.00
-----------------	-------	-------------------------------------	-------

Mantenimiento

Detalle de mantenimiento	<input checked="" type="checkbox"/>	368.00
--------------------------	-------------------------------------	--------

Costos Fijos

Detalle mantenimiento

Descripción	Valor Activo
LIMPIEZA	288.00
PINTURA	80.00
368.00	

Cerrar

Costos Fijos		Costos Variables	
Alimentación			
		<input checked="" type="checkbox"/>	7,265.00
Sanidad			
Plan Sanitario		<input checked="" type="checkbox"/>	2,659.20
Desinfectantes			
Desinfectantes	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00
Mano de Obra			
Sueldo	Decimo Tercero	Decimo Cuarto	Fondos Reserva
3,168.00	264.00	264.00	264.00
			Aporte Iess
			380.16
			<input checked="" type="checkbox"/> 4340.16
Operativos	Reparación	Mantenimiento	Costos Variables
355.20	225.00	105.00	14,949.56
COSTO TOTAL CERDO			
Costos Fijos + Costos Variables		18,209.56	Num Lechones
			800
		Valor para producir lechón	22.76