

ELEMENTOS A TOMAR EN CUENTA EN LA  
TOMA DE DECISIONES A NIVEL AGROPECUARIO  
(REGISTROS LECHEROS, PROGRAMACION LINEAL)

A. Gij <sup>1</sup>  
Colucci <sup>2</sup>

RESUMEN

Se plantea el tema de la toma de decisiones a nivel agropecuario. Destacando la necesidad de contar con información, la cual debe ser veraz y oportuna, y una metodología que permita optimizar esa toma de decisiones, a partir de la información disponible.

Se señala el rol de los "Computadores Personales" en el logro de los objetivos propuestos y en la agropecuaria - en general. Marcando su potencial y accesibilidad, fundamentalmente por su precio y fácil manejo; tanto para el profesional como para el productor. Se toma como modelo la Producción Lechera y sobre la misma se desarrollan los dos elementos:

- En primer lugar un sistema de manejo de registros lecheros con un computador personal.

- En segundo lugar se plantean las bases de la Programación Lineal y su utilización para evaluar información y optimizar los resultados; también con la ayuda del computador.

Se concluye que las empresas agropecuarias pueden acceder directamente, ó a través de sus técnicos asesores a la tecnología del "Computador Personal". Este tiene un importante rol a cumplir en la modernización de las mismas, permitiendo tomar decisiones que sean racionales, oportunas y fáciles de evaluar.

---

<sup>1</sup> Enc. del Pto. de Biometría de la Dirección de Lucha contra la Fiebre Aftosa (DILFA-Pando)

<sup>2</sup> Jefe del Proyecto de Nutrición Animal, Centro de Investigaciones Zoológicas - Alberto Boerger, La Estanzuela.

## INTRODUCCION

La mayoría de las actividades requieren tomar decisiones, lo que implica optar entre diferentes alternativas. Esta toma de decisiones se debe basar en un análisis profundo de la información disponible y en la estimación de cuales serán las consecuencias de optar por una alternativa y desechar otras.

Desde hace más de 20 años se comenzó a utilizar el enfoque por sistemas en la Producción pecuaria, sobre esto Morley (1972) dice que "trata de incorporar en el estudio todos los elementos que influyen en una decisión o una reacción o la comprensión de algún fenómeno dentro de límites definidos". El enfoque por sistemas exige la organización de la información para la toma de decisiones. Este enfoque no garantiza que las decisiones sean populares, fáciles de aplicar ni correctas, pero sí que sean más racionales y fáciles de reevaluar.

Tomar decisiones sin información, o con información de mala calidad es una aventura y como tal sus consecuencias pueden ser nefastas en el balance de un establecimiento productor.

Las empresas agropecuarias deben caminar en el sentido de racionalizar su gestión, para que ésto sea posible deberán tecnificarse en forma adecuada. Este cambio requerirá una forma diferente de ayuda profesional. Cada profesional deberá aportar a los sistemas de producción desde su ángulo de acción, sin perder de vista las perspectivas y el funcionamiento global de todo el sistema productivo. Esta modalidad exigirá un veterinario más dotado en el área de producción animal y preparado para trabajar en equipo con otros colegas y profesionales de la agropecuaria.

La tarea, que abandonará al "enfermo" como individuo problema, para considerar la población total y en todo caso a ese individuo como un factor dentro de la misma; obliga a manejar información que caracterice a la población, los factores que la afectan y su interrelación.

La mayoría de quienes toman decisiones a nivel de establecimientos agropecuarios, manejan información intuitivamente y miden las consecuencias de cada alternativa con modelos mentales de producción. El perfeccionamiento de sus decisiones se va logrando con la experiencia a través de muchos años de actividad; la cual generalmente tiene un alto costo. Esta forma de actuar se torna más un arte que un método científico. Pero debemos reconocer, que hasta hace muy poco, era prácticamente la única solución viable; pues la colección de datos, su procesamiento y análisis manual es tan engorrosa, que prácticamente junto a las tareas administrativas del establecimiento insumen una gran parte de la actividad diaria. Por lo cual el resultado es, información más o menos completa y exacta para decisiones más o menos correctas.

Hoy con la disponibilidad de microcomputadores profesionales, la implementación de un sistema de información, es accesible para el productor o profesional; no sólo por su costo, sino fundamentalmente por las facilidades de software disponibles. De esta forma podemos contar con la información en el momento oportuno y aplicar todo el conocimiento científico en cada una de las etapas de la producción.

A continuación describiremos, a modo de ejemplo, instrumentación de un sistema de información, para un establecimiento agropecuario. Para ello trabajaremos sobre el modelo de producción lechera. Consideraremos la implementación de registros, que es el sustrato que permite dirigir en forma eficiente y evaluar los resultados de cualquier modificación en el sistema y luego nos referiremos a la aplicación de la programación lineal (PL) como forma de optimizar combinaciones de recursos.

## 1. REGISTROS LECHEROS

### 1.1. Introducción

Se debe destacar que el sentido de aplicar un sistema computarizado, es cuando el volumen de animales y por lo tanto de datos lo justifica, pues si estos son pocos no resultará rentable la inversión.

No es novedad que existen programas de control lechero, que han transportado la metodología manual a un equipo de computación. Estos programas en general son rígidos y han sido desarrollados para equipos de gran porte, caros y difíciles de operar.

El paquete que hemos implementado, se puede ejecutar en la mayoría de los computadores personales existentes en el mercado y puede ser operado por cualquier persona con una preparación mínima.

El mismo ha sido desarrollado en forma modular lo que le permite que sea muy maleable, que admita adaptaciones y hasta profundas modificaciones, sin resquebrajar su estructura, atendiendo los intereses particulares de cada usuario.

### 1.2. Requerimiento para aplicar este Sistema

#### 1.2.1. Software o Programas

Este paquete fue implementado sobre el Administrador de Base de Datos "Knowledgeman v. 2.00". Esta base de datos es muy versatil, por lo que se puede instalar en la mayoría de las computadoras personales, ya sea sobre el sistema operativo DOS o CPM, existiendo versiones para el sistema UNIX.

#### 1.2.2. Hardware o Equipo

La configuración del computador personal para aplicar este tema requiere:

320 Kb de memoria RAM (es la disponible para el usuario).  
Dos disketteras (aunque sería recomendable poder contar con disco duro).  
Una impresora.

### 1.3. Operación del Sistema

La vamos a describir sobre el sistema operativo MS-DOS por ser el más común y sobre el cual hemos trabajado.

Dentro de las etapas de operación del paquete tenemos:

Primero cargar el sistema operativo que se realiza simultaneamente con el encendido de la computadora; luego se ingresa la fecha y la hora a la máquina y ésta queda pronta para operar.

En segundo lugar se debe cargar el programa de tambos y esto se realiza a través de la siguiente orden LOAD "TAMBO" y la tecla enter; luego se digita la palabra tambo y se pulsa la tecla enter, con lo cual a continuación se desplegará el Menú Principal del Sistema.

El Menú consiste en una serie de opciones que nos permiten ejecutar el programa y elegir la tarea deseada. Para seleccionar una opción simplemente tendremos que digitar el número de la misma. Las diferentes opciones nos van a permitir: ingresar datos, modificaciones, eliminarlos, procesarlos o imprimir algunos de los datos disponibles; todo esto se hará sobre pantallas predefinidas, que irán guiando al usuario paso a paso.

### 1.4. Ciclo de la Información

Entrando en el tema del tratamiento de la misma, podemos esquematizar un modelo informático en una entrada de datos, un proceso y la salida de un producto, la información. Esta última es el objetivo, siendo el resultado de los datos de entrada y su procesamiento.

Los datos son el elemento inicial o materia prima de la información, los cuales en forma cruda son difíciles de captar; por ejemplo: datos son la producción de cada una de las vacas de un establecimiento, que nos dicen algo de cada una de ellas, pero no nos dicen nada del conjunto; la suma de esas producciones o el promedio nos dan sí información sobre el nivel productivo del tambo: la cual es fácil de captar y comparar. Aquí vimos los tres elementos: los Datos = producción de cada vaca, el Proceso = las operaciones de sumar y calcular el promedio y la Información o datos de resumen = producción total del tambo y el promedio de cada vaca.

El ciclo es cerrado, debe quedar claro que si carecemos de algunos datos, no podremos proporcionar las salidas que estén determinadas por los mismos.

La información debe de estar pensada en función de sus destinatarios y no ser al decorativo en el establecimiento. Estos destinatarios generalmente son, en el caso de la producción lechera el productor o administrador y el veterinario o técnico asesor.

Seguendo el esquema propuesto (Datos - Proceso - Información) analizaremos cada una de estas etapas.

### 1.1. Captación de datos

Esta es una etapa crítica pues si no se realiza correctamente, no servirá de nada ni la computadora, ni el programa más sofisticado de evaluación - pues la información será mala, así como las decisiones que tomemos en función de ella. Por tanto son preferibles pocos datos bien tomados, que muchos de mala calidad. Con esta idea es que se pensó en un grupo mínimo de datos, que de obtenerlos tendremos toda la información propuesta, de no ser así de acuerdo al grupo proporcionado será la información obtenida. Los diferentes grupos de datos

#### 1.5.1. Identificación de los bovinos

Prácticamente todos los establecimientos tienen identificados sus animales, pero se debe insistir en ello porque no es posible montar ningún sistema que no tenga una forma confiable de identificación. Este puede ser el primer elemento para iniciar un sistema de registros aunque si es posible lo iniciaremos con la ficha de ingreso de animales que cuenta con más información. Ficha N° 1.

Los datos de la ficha de ingreso de animales se coleccionan sólo en las siguientes circunstancias: al ingreso de animales adquiridos fuera del establecimiento una única vez cuando el establecimiento ingresa al sistema. Frente a un tambo cerrado en que no ingresen animales, luego de iniciado el sistema, no sería necesario esta ficha.

De este grupo de información se solicita: número de caravana, fecha en que se ingresan los datos, fecha de nacimiento, la identificación del padre y de la madre. Estos datos se ingresan al archivo principal de vacas del establecimiento.

#### 1.5.2. Datos de Manejo y Sanitarios

Ficha N°2. En este grupo de información se ingresa la identificación (N° de caravana que permitirá relacionar los diferentes archivos), la fecha que se generó el hecho, la actividad observada, el resultado de la misma, otros dos campos con otro número de caravana y un nombre para cuando está implicado otro animal en la actividad. Para los campos de actividad, resultado y número de caravana los posibles datos están codificados previamente de la siguiente manera:

## C O D I G O S

Actividad	Resultado	N° Caravana
P = Parto	M = Macho	S/N° = Eliminación
M = Monta o Servicio	H = Hembra	N° = N° Ternero
		N° = N° Toro
D = Diagnóstico	V = Vacía	
	D = Dudosa	
	P = Preñada	
S = Secado	C = Lact. Completa	
	S = Razones Sanitarias	
	B = Baja producción	
C = 1° Celo Post-Parto		
E = Eliminada	B = Baja Producción	
	E = Por Edad	
	V = Venta	
	M = Muerte	
	S = Sanidad	
A = Aborto		

Como estos registros requieren la observación del animal, es posible que se observe la presencia de una patología por lo que se puede incluir en actividad el diagnóstico y en resultado el tratamiento; por último se incluyen campos para al tas y vacunas.

## 1.5.3. Datos de Producción

En este grupo de datos ingresa identificación (N° de caravana), fecha del registro, Kg. leche producida en el primer ordeño, en el segundo y el resultado del CMT (California Mastitis Test) por cuarto mamario. Ficha N°3 de recolección de datos.

1.6. Proceso

Utilizaremos el mismo orden de la recolección de datos para describir cómo se procesan los mismos dentro del sistema:

## 1.6.1. Datos Identificatorios e Ingreso de animales

Estos datos se ingresan a través de pantalla directamente al archivo principal de vacas si son animales adultos de lo contrario al archivo de terneros. Ver anexo 1 y 2.

## 1.6.2. Datos de Manejo

De acuerdo al esquema N°1 los datos son ingresados en un archivo temporal, el cual durante el proceso va a actualizar el archivo de vacas. En el anexo se observa el archivo de vacas.

Las diferentes situaciones planteadas son:

1. Si estamos frente a un parto, la fecha del mismo ingresará al archivo de vacas, se incrementará en uno el número de lactación, se pondrán en 0 el número de servicios y se actualizará el sexo del ternero. También se borrarán: la fecha del primer celo post-parto, la fecha del último servicio, el resultado de diagnóstico y la producción acumulada. Si no existe otro número de caravana será porque se eliminó el ternero, en caso de que se entre el número de ternero éste ingresará al archivo de terneros, junto con los datos del padre y madre (del archivo de vacas), sexo, fecha de nacimiento y origen.
2. Si estamos frente a un servicio se actualizará en el archivo de vacas la fecha del último servicio, se incrementará en uno el número de servicios y se incluirá el número y nombre del toro con que se ha servido a esa vaca. Si este es a su vez el primer celo post-parto se ingresará esa fecha también en el campo correspondiente.
3. Frente a un diagnóstico de gestación se ingresará el resultado en el archivo de vacas; de igual modo frente a un primer celo post-parto sin servicio se ingresará la fecha de éste.
4. Ante una vaca eliminada se la dará de baja del archivo de vacas del establecimiento y se la ingresará en un archivo histórico de vacas donde sólo constarán los campos de mayor interés, en el anexo N°3 vemos dichos campos; a continuación se bajarán todos sus registros del archivo de resúmenes, pasando estos datos a un histórico de resúmenes y lo mismo acontece con los registros sanitarios.
5. Frente a un aborto se ingresará ese resultado en el archivo de vacas, en el campo de diagnóstico. Se ingresará la misma en el archivo sanitario, junto con la fecha del último servicio y el número de servicios. A continuación en el archivo de vacas se pondrán en 0 el número de servicios, se eliminarán los datos identificatorios del toro y la fecha del último servicio.
6. Frente al Secado de una vaca se ingresará la fecha al maestro de vacas y el motivo. Tendremos un archivo de resúmenes en el que incluiremos: fecha de parto, producción acumulada, producción proyectada a los 305 días, fecha de secado, fecha del primer celo post-parto, número de servicios por concepción, fecha de concepción, toro que sirvió, ternero que parió, número y sexo. Anexo 4.
7. Los datos sanitarios: ingresarán a través de pantalla, cuando corresponden a un diagnóstico clínico si no lo harán automáticamente como cuando por ejemplo: estamos frente a una vaca con más de 60 días del parto (anestro) y no entró en celo, el grado de CMT es de 3 en algún cuarto, estamos frente a un aborto, animales con más de tres servicios fallidos, etc.. Luego de observar un animal por razones sanitarias se decidirá si permanece bajo observación o se le da de alta.

## 1.6.3. Datos Productivos y de C.M.T.

Estos datos ingresan a un archivo de producción y CMT que actualizará el archivo de vacas en cuanto a producción acumulada y fecha del último registro. Si el grado de CMT es de +++ para algunos de los cuartos, o el promedio es mayor a 1.5 ingresará la información al archivo sanitario.

## 1.7. Información proporcionada

Analizando los intereses de los usuarios de la información, si bien existen intereses comunes, en primer lugar consideraremos al técnico que visita el establecimiento periódicamente, al cual le sería útil tener organizada su actividad, disponiendo del grupo de individuos a observar y los antecedentes de los mismos. Las causas de observación pueden ser variadas: bovinos en tratamiento, ter-

neras a vacunar, vacas a diagnosticar, examen post-parto, etc. Al productor le interesarán las vacas a secar, a parir. En conjunto será importante evaluar el nivel productivo del establecimiento.

#### 1.7.1. Bovinos en tratamiento

En la planilla N°1 tenemos la identificación de los mismos con todos sus registros sanitarios desde que ingresó al establecimiento o nació en el mismo. Se aportan datos como número de partos, si está en producción y edad para evaluar en cada caso, la permanencia de ese individuo en el establecimiento. Se presentan cronológicamente cada una de las patologías que presentó, así como los tratamientos a que ha sido sometido, pudiéndose de esta forma determinar la susceptibilidad a algunas afecciones y la respuesta al tratamiento.

Si estamos frente a un problema de mastitis se proporcionan todos los CMT registrados del último período de producción por cuarto mamario. Para la realización de este listado se utilizará el archivo sanitario y el de producción si necesitamos los CMT. Se ordenará (indexará) la información por número de caravana e inversamente a la fecha.

#### 1.7.2. Terneras a vacunar con Cepa 19

Este listado es optativo y sólo será útil en establecimientos con gran número de animales. En la planilla N°2 tenemos la lista en el momento oportuno de las terneras que se deben vacunar con Cepa 19 (Brucelosis), además proporciona la fecha de nacimiento y la identificación de los padres como información subsidiaria por si se quiere realizar alguna selección en ese momento. Para hacer este listado mantendremos ordenado el archivo de terneros por fecha de nacimiento y buscaremos aquellas hembras con más de 3 meses y menos de 6 meses que no esten vacunadas para incluirlas en el listado.

#### 1.7.3. Vacas para Diagnóstico de Preñez

La planilla N°3 está destinada al diagnóstico de gestación de aquellas vacas que hace 60 días o más tuvieron su último servicio y aun no fueron observadas, la fecha de este, la cantidad de días transcurridos, la edad del animal, el número de servicios que ha requerido, la fecha del primer celo post-parto, del último parto y el número de partos. De esta forma tenemos resumida toda la actividad reproductiva del animal lo que nos puede orientar si estamos frente a un individuo problema o no.

Del resultado del diagnóstico queda constancia en el archivo de vacas. Si éste es el tercer servicio o más, fallido, esta vaca pasa a integrar el listado sanitario para su observación por el veterinario, en la próxima visita.

#### 1.7.4. Examen Post-parto

La planilla N°4 está dedicada a señalarnos los individuos que han parido en los últimos 35 días para su examen. Si el veterinario detecta alguna anomalía o indica tratamiento, estos individuos ingresarán al fichero sanitario para ser observados nuevamente la próxima visita.

#### 1.7.5. Vacas próximas a parir

Esta información va a interesar fundamentalmente al productor pues le permitirá planificar su producción y apartar u observar a los animales que próximamente parirán. Este listado incluye todas aquellas vacas con diagnóstico de gestación positivo y que parirán en los próximos 35 días. La cantidad de días se puede ajustar de acuerdo a la frecuencia de las visitas o de los listados emitidos. Como datos complementarios tenemos la identificación del toro, de los ancestros de la vaca y su número de partos, como antecedentes para decidir si conservamos el ternero o nó. Planilla N°5. Se prevé espacio para identificación del ternero, el sexo y el destino, para que el productor pueda mantener la información en su listado. Si el destino es la cría, ese animal ingresará al archivo de terneros.

## 1.7.6. Vacas a Secar

Esta planilla nos trae la fecha recomendada para secar de aquellas vacas que tienen más de 220 días de gestación, o 305 días de lactación, o una baja producción (aun no implementado) que no justifica su permanencia, o es recomendado por razones sanitarias. Como información complementaria se proporcionan los días de ordeño, el último registro de producción, la edad, de forma de poder evaluar si el mismo es imperioso o se puede posponer de acuerdo a la realidad del establecimiento en ese momento. La fecha del parto y el motivo del secado, la producción acumulada. Cuando se tenga la información de más de un par de años se podrá evaluar la producción y automatizar los criterios para recomendar secar por baja producción. Planilla N°6.

## 1.7.7. Vacas en Producción

Este listado nos trae el último registro de Producción y el anterior con los días de lactación, la producción acumulada, la proyectada a 305 días, los días de gestación. Con esto podremos hacer las recomendaciones de racionamiento de acuerdo al nivel productivo y las disponibilidades de forraje. El cálculo de la cantidad de leche producida se realiza por el método del intervalo medio de comprobación (TIM), que consiste en multiplicar los rendimientos medios de la prueba actual y anterior por el número de días transcurridos entre ambas comprobaciones. Se toma para el primer registro después del parto, el producto del número de días por ese registro y para el último registro se disminuye 0.4 % días hasta el secado.

## 1.7.8. Resumen Individual de cada Vaca

Este se emite cuando se seca cada vaca. En el mismo se establece identificación, ancestros, comportamiento reproductivo y productivo en cada una de sus lactaciones. Este listado permite hacer una evaluación del animal siendo útil para la selección; pues nos da el intervalo inter-partos, el número de servicios requeridos por gestación, persistencia en la lactación y producción a lo largo de la misma. Este se genera con el archivo de resumen que esta ordenado por la fecha de secado. Cuando se genere información suficiente (4 o 5 años) se pueden hacer correcciones por número de lactación, duración período seco, estación del año, peso, etc. y proporcionar el dato de producción estandarizada con su ubicación dentro del rodeo 1/3 superior, medio o inferior; y con ese dato evaluar reproductores por análisis genealógico, pruebas de descendencia, etc. si se estima pertinente.

## 1.7.9. Resumen del Establecimiento

Estos listados pretenden evaluar globalmente el funcionamiento del tambo y se busca una valoración absoluta, estableciendo los distintos coeficientes de producción, reproducción y sanitario. Se proporciona además la misma información del mismo mes del año anterior para realizar una valoración relativa y observar la evolución del establecimiento, en el período. En la medida que se trabajen varios establecimientos de condiciones similares, se puede agregar un tercer cuerpo con el promedio de todos los establecimientos lo que permitirá determinar fácilmente las bondades o carencias del tambo analizado.

## 2. PROGRAMACION LINEAL

Los comienzos de la Programación Lineal (PL) se ubican al inicio de la década del 40. Las técnicas para la resolución óptima de los problemas de PL, son desarrollados entre los años 1947 y 1952.

Definición

La Programación Lineal es una técnica matemática para seleccionar distintos tipos de recursos (capital, materias primas, mano de obra y otros insumos) para lograr un objetivo determinado (tal cual minimizar costos u obtener una rentabi-



lidad máxima). La Programación Lineal puede también ser utilizada para analizar los resultados económicos de distintas estrategias en la utilización de recursos distintos objetivos productivos, etc.

En el área de producción animal la introducción de la Programación Lineal significó una gran contribución en la formulación de dietas de mínimo costo en la producción avícola. La técnica fue utilizada por economistas agrícolas antes de ser aplicada por los nutricionistas dedicados a la avicultura. En sus comienzos la PL en la formulación de dietas fue debatida y se cuestionó la viabilidad de obtener buenos resultados, desde el punto de vista productivo, con raciones formuladas por computadoras. Es cierto que algunas fórmulas de aquella época fracasaron ya que no lograban una buena performance productiva. Sin embargo, la inclusión racional de las reglas y principios nutricionales a los programas de permitieron obtener resultados altamente positivos.

La introducción de las microcomputadoras, más conocidas como "computadoras personales" ha permitido un mayor acceso al uso de esta técnica. Hasta hace unos años era necesario acceder a un computador grande para solucionar problemas de PL de relativa complejidad. Además los programas adecuados para el área agropecuaria eran de alto costo. Hoy en día, el desarrollo explosivo de los equipos "pequeños", significa un cambio tecnológico revolucionario, ya que a un costo relativamente bajo, un productor o grupo de productores agropecuarios pueden realizar ellos mismos los análisis que hace unos pocos años solamente eran posibles con la utilización de los grandes equipos de computación. En este momento el Uruguay ha comenzado a ser partícipe de este cambio tecnológico de la computación e informática. Existen en nuestro mercado computadoras personales e impresoras que perfectamente pueden ser adquiridas y manejadas a nivel de establecimiento. Esto es posible no solo por el relativamente bajo costo de estos equipos, sino que también por la disponibilidad de programas o "software" que perfectamente pueden ser adaptados a las distintas situaciones. Este es un punto que deseamos destacar y pensamos que es la parte más importante de nuestro mensaje. El "computador personal" es tal cual se denomina personal y el mismo puede ser utilizado por cualquier persona con una preparación media.

La Programación Lineal implica la selección de un conjunto de variables y sus cantidades (por ejemplo kgs. de un alimento por animal y por día) que maximiza o minimiza una función objetiva (por ejemplo rentabilidad o ganancia por animal y por día en el caso de minimización) sujeto a una serie de restricciones lineales (por ejemplo, consumo potencial diario de materia seca, requerimientos de proteína por día, etc.) y la restricción que las variables no pueden ser negativas (por ejemplo, no se puede consumir cantidades negativas de un alimento en particular).

Para tener una idea de las características de un problema que puede ser solucionado efectivamente con las técnicas de Programación Lineal, presentaremos un ejemplo simplificado. El mismo es presentado a modo de ejemplo y para ilustrar el punto, los problemas reales pueden ser de mayor complejidad y pueden ser solucionados con una computadora con un paquete programado adecuado. El usuario del computador personal no necesita escribir un programa complejo de instrucciones, necesario para que la computadora resuelva los problemas de PL. Sí se debe formular el problema en una forma apropiada y preparar y entrar la información necesaria. La solución del problema es luego calculada por el computador. El usuario debe necesariamente poseer un cierto nivel de conocimiento de PL para poder interpretar los resultados impresos por el computador, de forma de poder decidir que otros caminos debe de ser explorados. No es necesario conocer como el computador encuentra la solución óptima o como llega a evaluar los efectos de los cambios en las variables. Es necesaria sí, conocer los elementos de la metodología para poder formular el problema adecuadamente e interpretar las soluciones inteligentemente. Si tomamos el ejemplo de cálculo de raciones o formulación de dietas, los resultados de mínimo costo generados por un computador, pueden ser también calculados a mano con un gasto tremendo de tiempo y los mismos están sujetos a los errores intermedios de cálculo.

En general la reacción por parte de los productores o técnicos no familiarizados con técnicas de computación o al uso de computadoras puede ser de dos tipos. Por un lado el rechazo a lo desconocido y el argumento de estar ante algo muy

teórico y no práctico, por otro lado la actitud de aceptar sin cuestionar la información que sale del computador. Ambas posiciones son extremas. El computador debe ser tomado como una herramienta que permite solucionar problemas de gran complejidad matemática con relativa facilidad. Sin embargo siempre se debe de tener presente que las soluciones generadas por el computador no aportan una verificación mejorada de la calidad de los datos en que se basan los cálculos. Por ejemplo si en la formulación de una ración los valores de entrada de los distintos ingredientes (alimentos) contienen errores en las ecuaciones para proteína o energía, no es posible esperar una dieta que en la práctica alcance los niveles deseados para estos dos parámetros.

El ejemplo siguiente tiene las características de un problema que puede ser solucionado con LP. Es importante saber no sólo lo que puede ser hecho con LP sino que también lo que no puede ser realizado.

#### Primer Problema (método gráfico)

Un productor agropecuario dispone de un área de campo que puede ser utilizada por novillos. El área de pastoreo comprende 40 hectáreas de campo no mejorado (campo natural-CN) y 60 hectáreas de praderas convencionales (P). Por razones de manejo de las pasturas debe de rotarlas dejando períodos de descanso. En el momento se puede comercializar dos tipos de novillos, a) de 300 kgs. de peso vivo por los que obtiene una ganancia de \$ 3.00 (a modo de ejemplo) y b) de 400 kgs. de peso vivo que le dejan una ganancia de \$ 4.00. Si inicia el pastoreo con novillos de 300 kgs. la experiencia previa indica que aquellos animales cuya área de pastoreo comprende 0.4 há. de campo natural (CN) y 0.2 há. de pradera (P) llegarán al peso de 300 kgs. al mismo tiempo que animales cuya área de pastoreo sea de 0.2 há. de CN y 0.5 há. de P.

La pregunta en este caso es cuántos novillos de 300 y 400 kgs. deben de producirse de acuerdo al área disponible y a las restricciones planteada, para maximizar las ganancias. Primero tenemos que convertir este problema a una forma matemática. Los novillos de 300 kgs. serán representados por el símbolo "Nts" y los de 400 kgs. por "N". La ganancia total por producir "Nts" novillos de 300 kgs. y "N" novillos de 400 kgs. es  $3 \text{ Nts} + 4 \text{ N}$  esto quiere decir que si se producen 10 novillos de 300 kgs (Nts = 10) y 15 novillos de 400 kgs. (N = 15), la ganancia total es de  $(3 \times 10) + (4 \times 15) = 90$ .

Ahora debemos expresar las restricciones de capacidad del campo. La producción de cada novillo de 300 kgs. implica la utilización de 0.4 há. de CN. Por lo tanto producir Nts novillos de 300 kgs. utilizará  $0.4 \text{ Nts}$  hectáreas de campo natural (CN). En forma similar la producción de N novillos de 400 kgs. utilizará  $0.5 \text{ N}$  há. de CN, ya que cada novillo de esta categoría requiere 0.2 há. de CN. El número total de hectáreas de CN utilizadas por las 2 categorías de novillos es de  $0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N}$ .

Anteriormente se estipuló que el área disponible de campo natural es de 40 há. entonces podemos decir que  $0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N} = 40$ , sin embargo esta ecuación no es correcta ya que no sabemos con certeza si la ganancia máxima implica la utilización de todo el CN disponible. De lo que sí estamos seguros es que no podemos contar con un área superior a 40 hectáreas de CN. Esto lo podemos expresar utilizando el símbolo "igual o menor que" ( $=$ ),  $0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N} = 40$  há.

Utilizando el mismo razonamiento llegamos a la restricción o limitante de la capacidad del área de pradera (P) disponible  $0.2 \text{ Nts} + 0.5 \text{ N} = 60$  há.

Teniendo en cuenta que producir novillos de 400 kgs. dejar una mayor ganancia se podría considerar que la decisión óptima fuera contar con la mayor cantidad de animales de esta categoría y no producir animales de 300 kgs. El número máximo de novillos de 400 kgs. que puedan producirse estará limitado por el área disponible de pastoreo y sería:

"Campo Natural" - el número de animales de 400 kgs. (N) multiplicado por 0.2 no puede ser mayor de 40.

"Pradera Conv." - el número de animales N multiplicado por 0.5 no pueda exceder 60.

Esto significa que el campo natural permite manejar  $40/0.2 = 200$  animales de la categoría N, mientras que la pradera  $60/0.5 = 120$ . Por lo tanto 120 sería el número máximo de novillos de 400 kgs., los cuales utilizarían toda el área disponible de pradera y  $120 \times 0.2 = 24$  hás. de campo natural, dejando  $40 - 24 = 16$  hás. de CP sin utilizar. Las ganancias con esta estrategia serían de  $120 \times 4 = \$ 480$ .

Veamos que sucede cuando aplicamos la técnica de PL utilizando un método gráfico para ilustrar el punto. El significado de las restricciones o limitantes en términos geométricos puede ser representado tomando el eje vertical como el número de novillos de 300 kgs. (Nts) y el horizontal como el número de novillos de 400 kilogramos (N), dentro de la restricción de campo natural (CN)  $0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N} = 40$ , pero considerando solamente el signo de igual (=)

$$0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N} = 40$$

$$0.4 \text{ Nts} = 40 - 0.2 \text{ N}$$

$$\text{Nts} = 100 - 0.5 \text{ N}$$

Esta última ecuación nos permite construir una tabla con valores de Nts con los correspondientes valores de N.

Nts	N
0	200
25	150
50	100
75	50
100	0

Si graficamos estos valores (gráfica 1) vemos que los puntos caen dentro de una línea recta. Quiere decir que una línea que pase por estos 5 puntos representa todas las combinaciones posibles de valores para Nts y N que satisfacen a la ecuación CN. Por tanto podemos representar la ecuación como una línea sin especificar ningún punto en particular (figura 2). La restricción en realidad es una inequación  $0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N} \leq 40$  y no una ecuación como representa la línea. Gráficamente esta desigualdad está representada por los puntos de la línea y de la región debajo de la línea (rayado en gráfica 2). Es importante tener presente que cualquier punto en la línea o debajo de la línea representa una combinación específica de los valores de Nts y N.

Si aplicamos el mismo razonamiento para la restricción o limitante Pradera (P) ( $0.2 \text{ Nts} + 0.5 \text{ N} = 60$ ) y la combinamos con la gráfica anterior obtenemos la gráfica 3, donde el sombreado se encuentra debajo de ambas líneas. Esta región representa las combinaciones de ambos tipos de novillos que pueden utilizar las áreas establecidas de pasturas (restricciones). Es esta área o región la que nos interesa.

Tenemos que tener en cuenta las ganancias ( $3 \text{ Nts} + 4 \text{ N}$ ) y buscar el punto dentro de esta región permitida que represente la ganancia máxima. Esto es la esencia de la programación lineal, la búsqueda del punto óptimo. Con un computador el punto óptimo es localizado por métodos algebraicos, más que gráficos.

Gráficamente lo podemos determinar de la siguiente forma: sabemos que la ganancia en un punto particular es  $3 \text{ Nts} + 4 \text{ N}$ . Si por ejemplo tomamos  $3 \text{ Nts} + 4 \text{ N} = 300$ , tenemos la línea que llamamos A en la gráfica 4. En la misma se incluyen puntos que corresponden a

Nts	N
100	0
60	30
20	60
0	75

Todos los puntos de esta línea son permitidos ya que no violan ninguna de las restricciones. Esta estrategia obviamente no es la óptima (la que maximiza las ganancias). Si calculamos la línea  $3N + 4N = 480$  (línea B, gráfica 4) vemos que la misma cumple en parte de su trayecto con las restricciones estipuladas, siendo entonces una mejor elección y maximizar las ganancias. Esta línea (B) indica que no podemos por ejemplo producir 160 novillos de 300 kgs. (intersección de B con el eje vertical) y ninguno de 400 kgs., ya que no contamos con suficiente cantidad de campo natural (ver gráficas 3 y 4).

Pero sí podemos manejarnos con la combinación 120 novillos de 400 kgs. (intersección de B con el eje horizontal) y ninguno de 300 kgs., ya que no se viola ninguna de las restricciones.

El problema es el de obtener la línea de ganancia ( $3N + 4N$ ) máxima que por lo menos coincida en un punto en que no se viole ninguna de las restricciones. Este punto representa la política o estrategia óptima, de acuerdo al objetivo -- perseguido. Esto es la parte fundamental de la técnica de Programación Lineal. Si continuamos con nuestro ejemplo, podemos observar que las 2 líneas (A y B, -- gráfica 4) son paralelas. Si siguiéramos probando distintas líneas con la fórmula  $3N + 4N = x$ , veríamos que ellas son todas paralelas entre sí. Esto nos permite buscar la línea que va lo más lejos posible (maximizar  $x$  en la fórmula de ganancia), pero manteniendo al menos un punto de contacto con la región o área viable. En este caso particular, será la línea que pasa por la intersección de las dos líneas de restricción (línea C, gráfica 4). La misma corresponde a una ganancia de \$ 550, donde el número de animales de la categoría 300 kgs. es igual a 50 ( $N = 50$ ) y los de 400 kgs. igual a 100 ( $N = 100$ )

$$3 \times 50 + 4 \times 100 = 550$$

Una línea de ganancia superior a \$ 550 caerá fuera de la región viable. Por lo tanto \$ 550 es la ganancia máxima que podemos lograr de acuerdo a los objetivos y restricciones marcadas para este problema.

Con este ejemplo vemos que la forma de maximizar las ganancias implica producir novillos de ambas categorías, optimizando la utilización del área de pastoreo -- disponible. Un importante aspecto de este problema es que la estrategia seleccionada, fue determinada no solo por la función objetiva (ganancia) sino que -- también por las restricciones impuestas a la producción de cada categoría animal.

La maximización de ganancias es un típico caso de problema que puede ser resuelto utilizando técnicas de PL. Por supuesto que no siempre la mejor estrategia -- implica una combinación de los productos (ganado en este caso). Supongamos que la ganancia por novillos de 300 kgs. sea de \$ 3, pero que los novillos de 400 kgs. dejen un beneficio de \$ 9. Manteniendo las mismas restricciones, la búsqueda de la línea de ganancia o beneficio máximo que posea por lo menos un punto viable o permisible, toca el vértice o ángulo formado por la intersección de una de las -- restricciones (Pradera) y el eje horizontal (gráfica 5). Esto significa que es -- más rentable producir solamente novillos de 400 kgs. ( $N = 120$ ). Esta estrategia dejará sin utilizar 16 hás. de campo natural.

Siguiendo con este ejemplo veamos lo que ocurre si cada novillo de 300 kgs. deja una ganancia de \$ 6 y cada novillo de 400 kgs. deja una ganancia de \$ 3. La línea de ganancia máxima (gráfica 6) coincide con una de las líneas de restricción (Campo Natural).

El productor en este caso tiene varias opciones o distintas estrategias; producir 100 Nts y 0 N, 75 Nts y 50 N, 50 Nts y 100 N. dado que cada una de estas combinaciones le dejará la misma ganancia de \$ 600. Por supuesto que en este caso -- no se considera el costo inicial de los animales si así se hiciera es obvio que la mejor estrategia para este caso sería aquella que utilizara el mínimo número -- de animales (100 Nts). Por otra parte, la coincidencia de la línea de beneficio o ganancia con la de limitación de campo natural indica que en todos los casos se está utilizando el máximo posible del área de campo natural (40 hás), mientras -- que la utilización de pradera aumenta al incrementarse la proporción de animales de 400 kgs. (N)

$$6 \text{ Nts} + 3 \text{ N} = \$ 600 \text{ ganancia (Gan.)}$$

$$0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N} = 40 \text{ campo natural (CN)}$$

$$0.2 \text{ Nts} + 0.5 \text{ N} = 60 \text{ pradera (P)}$$

Nts	N	Gan.	CN	P
100	0	600	40	20
75	50	600	40	40
50	100	600	40	60

El planteo de este ejemplo en los términos necesarios para solucionarlo con Programación Lineal es:

Maximizar  $3 \text{ Nts} + 4 \text{ N}$  Función Objetiva (ganancia).

Sujeto a  $0.4 \text{ Nts} + 0.2 \text{ N} = 40$  (CN)

Restricciones o  $0.2 \text{ Nts} + 0.5 \text{ N} = 60$  (P) limitaciones del problema y que  $\text{Nts} \geq 0$ ,  $\text{N} \geq 0$  Restricciones o limitaciones de no negatividad.

Utilizando la terminología de PL la función objetiva por convención es igual a "Z". Las filas en el planteo se refieren a las restricciones o a la función objetiva, las columnas a las actividades o el lado derecho. Los planteos pueden variar ya que a menudo se trata de minimizar los costos (caso típico de formulación de dietas de mínimo costo), y las restricciones pueden ser "igual a", "mayor o igual que" o "menor o igual que".

#### Aplicaciones y limitaciones de la técnica

La PL tiene limitaciones en cuanto al tipo de problemas a ser resueltos y en la forma de formularlos o plantearlos. Un problema a ser resuelto con esta técnica debe de poseer un objetivo definido, que debe ser expresado en forma numérica.

El objetivo (función objetiva) tiene que ser formulado o planteado como la suma de una serie de términos. Cada término consiste en el producto del nivel de actividad multiplicado por una constante que es el "costo" o la "ganancia" por una unidad de la actividad definida. El objetivo o meta perseguida será maximizar las "ganancias" o minimizar los "costos". Las actividades deben ser debidamente identificadas y el nivel de las mismas expresado en términos numéricos.

#### Resolución de problemas de Programación Lineal con computadoras

A continuación se presentan algunos ejemplos de solución de problemas de programación lineal, utilizando uno de los tantos paquetes (software, programas) disponibles para computadoras personales.

El programa, LP88 (Versión 3.12, Linear Programming for the IBM Personal Computer, Eastern Software Products, Inc, USA) opera en las computadoras personales IBM o IBM compatibles. El mismo permite plantear y resolver programas lineales con hasta 2255 variables y 255 restricciones. Para usar LP88 es necesario contar con:

- Un PC IBM o IBM compatible con al menos 128 k de memoria
- Un monitor de 80 columnas
- Por lo menos una disquetera para diskettes de doble densidad
- Una impresora

El programa es de fácil manejo ya que presenta un menú y un pequeño manual de operación.

Para iniciar nuestro ejemplo hemos tomado la siguiente situación:

Un productor lechero tiene 3 alternativas de producción dentro de su rodeo, vacas que produzcan 10, 12.5 y 15 lt/día. Estos niveles de producción le significan una ganancia de \$ 2, \$ 2.5 y \$ 3 por animal y por día para los niveles de 10, 12.5 y 15 lt/día respectivamente.

Para producir 10 litros de leche las vacas requieren 0.2 hectáreas de pradera más 30 kgs. de silo por animal y por día. Los 12.5 lts. de leche se logran con 0.2 hectáreas de pradera más 10 kgs. de silo por animal y por día. Los 15 litros de leche se logran con 0.2 há. de pradera, 30 kgs. de silo y 2 kgs. de ración. Para llegar al nivel de producción máximo (15 lts.), cada animal debe de pastorear un área de 0.4 há. de pradera y recibir un suplemento de 2 kgs. de ración (no recibe silo). El productor debe de decidir la asignación de los distintos recursos (pradera, silo y ración) a una combinación de animales produciendo a los 3 niveles mencionados, de forma de maximizar las ganancias.

En el planteo del problema debemos considerar las limitaciones o restricciones de los recursos de forma tal de lograr un formato adecuado al marco de la Programación Lineal. En una primera prueba digamos que el área de pradera disponible es igual a las 120 hectáreas y que podemos variar el pastoreo de la misma sin limitaciones (de 0 a 120 há.), que el consumo de silo variará entre 0 y 4.000 kgs. por día, la ración se encuentra limitada por un consumo máximo de 400 kgs. (de 0 a 400 kgs.) por día y que se cuenta con un máximo de 100 vacas. Estas restricciones representan el lado derecho de ecuaciones o inecuaciones. Representamos al número de vacas produciendo 10, 12.5 y 15 lts. por día con B, M, A (por bajo, medio y alto respectivamente).

En términos de PL este problema puede ser planteado de la siguiente forma (así como se entre en el programa LP88):

Maximizar  $2B + 2.5M + 3A$

Sujeto a  $0.2B + 0.2M + 0.4A \leq 120$  há. Pradera (Prad)

$10B + 30M \leq 4.000$  kgs. Silo

$2M + 2A \leq 400$  kgs. Ración

$B + M + A \leq 100$  Vacas

Corriendo el programa con las restricciones planteadas obtenemos el siguiente resultado

Ganancia máxima \$ 300

Número de vacas = 100 (B=0, M=0, A=100)

Pradera utilizada = 40 há.

Silo utilizado = 0 kg.

Ración utilizada = 200 kgs.

Por supuesto que este era el caso más sencillo y la solución encontrada era de esperar. Veamos que sucede si cambiamos las restricciones y decimos que queremos utilizar 4.000 kgs. de silo (Silo = 4.000), manteneremos el número de vacas igual a 100 (Vacas = 100) y agregamos la restricción de que queremos por lo menos tener una mínima de 10 vacas produciendo al nivel de 10 kgs. por día (B = 10). Se mantiene la restricción Pradera = 120 há.

El resultado es una solución no óptima ya que no se pueden satisfacer todas las restricciones. Sin embargo la computadora selecciona la siguiente solución

Ganancia máxima \$ 250 Ganancia máxima \$ 250

Número de vacas = 100 Número de vacas = 100 (B=0, M=100, A=0), B debía ser = 10

Pradera utilizada = 20 Pradera utilizada = 20 há.

Silo utilizad Silo utilizado = 3.000 kgs. (no se cumple el nivel exigido = 4.000)

Ración utilizada = 200 kgs.

En este caso el programa ofrece una solución donde se violan necesariamente algunas de las restricciones, ya que las mismas son incompatibles entre sí. En este caso el número de vacas es fijo (Vacas = 100) y pedimos además que se deben consumir 4.000 kgs. de silo (Silo = 4.000). Tomando las necesidades de silo del grupo que consume una mayor cantidad del mismo (M para producir 12.5 lts./día de be de consumir 30 kgs. de silo), vemos que es imposible combinar el número de vacas exigidos al nivel de consumo estipulado ( $100 M \times 30 \text{ silo} = 3.000 \text{ kgs. de silo}$ ). Quiere decir que estamos ante un caso de planteo erróneo del problema. Si efectivamente queremos tener 10 animales por lo menos del grupo B (10 lt) y mantenemos al resto de las restricciones inalteradas, se debería eliminar la restricción  $1B = 10$  y cambiar el número total de vacas a 90 ( $1B + 1M + 1A = 90$ ), Con esto asignamos las 10 vacas al grupo B y corremos el problema para las 90 vacas restantes. A priori podemos adelantar el resultado, dada las restricciones impuestas. Si bien tendremos nuestras 10 vacas en el grupo bajo (B), ya que esto fue forzado de antemano, el resto de los animales serán localizados en el grupo medio (M) ya que la restricción para silo supera el consumo máximo posible. La solución encontrada será similar al ejemplo anterior y el programa indicará que la misma no es óptima.

Ganancia máxima = \$ 225

Número de vacas = 90 (B=0, M=90, A=0)

Pradera utilizada = 18 hás.

Silo utilizado = 2.700 kgs.

Ración utilizada = 180 kgs.

A esto debemos agregar las 10 vacas del grupo B (10 lts)

Ganancia total =  $225 + 10 \times 2 = \$ 245$

Pradera utilizada =  $18 + 10 \times 0.2 = 20 \text{ hás.}$

Silo utilizado =  $2.700 + 10 \times 10 = 2.800 \text{ kgs.}$

Ración utilizada = 180 kgs.

Otra alternativa, siguiendo con el mismo número de restricciones sería decir que el consumo de silo debe de ser igual o menor a 4.000 kgs. En este caso debemos indicar que  $1B + 1M + 1A = 90$  si es que queremos contar con 10 vacas de nivel B. Ya que se trata de un problema de maximización y no existe nivel mínimo de utilización de silo (por ejemplo), sabemos que la selección será incluir vacas A (15 lt/día)

Ganancia máxima = \$ 270

Pradera utilizada = 36 hás.

Silo utilizado = 0 kg.

Ración utilizada = 180 kgs.

La solución en este caso fue óptima. Si agregamos el consumo de las 10 vacas de nivel B, tenemos pradera total 38 hás., silo 100 kgs. y ración permanece igual (grupo B no consume ración). La ganancia total sería igual a \$ 290.

Estos ejemplos sirven para apreciar el tipo de solución en relación a la información entrada al computador, sobre todo en cuanto a las restricciones. Es obvio que una solución que implique una utilización de 100 kgs. de silo o 38 hás. de pradera (de un total utilizable de 120 hás.) no es lo "óptimo".

Veamos que ocurre si ponemos más limitaciones o restricciones, en otras palabras si "afinamos la puntería". Supongamos que de las 120 hás. planteadas para pradera, en realidad deseamos utilizar un máximo de 40 hás. para 100 vacas y establezcamos una utilización mínima de 30 hás. Esto es perfectamente justificable ya que tenemos esa pradera y no encontramos otro uso para la misma, o sea que no nos sirve una solución donde se utilicen solamente 20 hás. de pradera (por ejemplo). Se cuenta con material ensilado y se estima que el mismo puede durar el tiempo necesario, siempre y cuando se consuma a un nivel máximo de 3.000 kgs. por día. Para el silo también se considera un mínimo ya que el material ensila-

do debe de ser utilizado; se fija entonces un mínimo de 1.000 kgs/día. La ración a utilizar debe fluctuar entre un mínimo de 100 kgs/día a un máximo de 150 kgs. por día. Queremos como en los ejemplos anteriores manejar estos recursos con 100 animales e incluimos también las restricciones de contar con un mínimo de 10 animales del grupo B (10 lts/día). Esta última restricción es perfectamente posible ya que el productor lechero puede tener 10 animales malos productores pero que quiere mantener, o simplemente que hay vacas que están en lactancia avanzada. El planteo para esta situación es:

$$\text{Maximizar } 2B + 2.5M + 3A$$

$$\text{Sujeto a } 0.2B + 0.2M + 0.4A = \leq 40 \text{ hás. Pradera}$$

$$0.2B + 0.2M + 0.4A = \geq 30 \text{ hás.}$$

$$10B + 30M = \leq 3.000 \text{ kgs. Silo}$$

$$10B + 30M = \geq 1.000 \text{ Kgs.}$$

$$2 \quad 2M + 2A = \leq 150 \text{ kgs. Ración}$$

$$2M + 2A = \geq 100 \text{ kgs.}$$

$$1B + 1M + 1A = 100 \text{ Vacas}$$

$$1B = \geq 10$$

La solución a este problema es de tipo óptimo

$$\text{Ganancia máxima } \$ 262.5$$

$$\text{Número de vacas } = 100 \text{ (B=25, M=25, A=50)}$$

$$\text{Pradera utilizada } = 30 \text{ hás.}$$

$$\text{Silo utilizado } = 1.000 \text{ kgs.}$$

$$\text{Ración utilizada } = 150 \text{ kgs.}$$

Con esta solución puede ser interesante (por ejemplo) explorar el resultado de introducir la necesidad de un mayor consumo de silo y reducir el número de hectáreas mínimo de pastoreo.

Establecemos un límite mínimo de 1.500 kgs. de ensilaje (Silo  $\geq 1.500$ ) al día y reducimos el área mínima de pastoreo a 20 hás. (Pradera  $\geq 20$ ). Manteniendo el resto de las restricciones sin modificar obtenemos el siguiente resultado o solución óptima.

$$\text{Ganancia máxima } = \$ 254.2$$

$$\text{Vacas } = 100 \text{ (B=25, M=42, A=33)}$$

$$\text{Pradera utilizada } = 26.7 \text{ hás.}$$

$$\text{Silo utilizado } = 1.500 \text{ kgs.}$$

$$\text{Ración utilizada } = 150 \text{ kgs.}$$

Por último para dejar este ejemplo de maximización veamos que ocurre si establecemos un número mínimo de vacas igual a 100 ( $1B + 1M + 1A \geq 100$ ) y no ponemos ninguna restricción al número máximo de vacas. Se mantienen las restricciones del último ejemplo, incluyendo el contar con un mínimo de 10 animales en el grupo B. Este planteo puede servir para maximizar la utilización de recursos existentes.

La solución es óptima

$$\text{Ganancia máxima } = \$ 425$$

$$\text{Vacas } = 200 \text{ (B=150, M=50, A=0)}$$

$$\text{Pradera utilizada } = 40 \text{ hás.}$$

$$\text{Silo utilizado } = 3.000 \text{ kgs.}$$

$$\text{Ración utilizada } = 100 \text{ kgs.}$$



Esta combinación de 150 vacas de 10 lts. y 50 de 12.5 lts., utilizan el total del área de pradera (40 hás.), el máximo de silo (3,000 kgs/día) y 100 kgs. de ración (no se utiliza el máximo posible -150 kgs.-).

En esto vemos algunas de las posibilidades de la PL. Es obvio que estos planes pueden ser más ajustados a la realidad y este ajuste dependerá de la calidad de la información suministrada al computador. Un estudio más detallado incluirá a los costos de los distintos insumos y los costos iniciales de las vacas.

En términos generales el uso eficiente de esta técnica implica un cierto conocimiento de la misma y de la accesibilidad a información valedera. La mayor o menor complicación de los planteos dependerá en última instancia del fin perseguido y de la calidad de la solución esperada.

## CONCLUSIONES

Los establecimientos agropecuarios deben contar con un sistema de registros que les permita planificar y ejecutar sus actividades, de producción y administrativas; logrando en un corto plazo un manejo eficiente, una evaluación económica y sentar las bases para la selección genética en el futuro mediano.

2. La Investigación de Operaciones que ha permitido importantes avances en los campos económico, bélico y nutricional, entre otros, tiene en la agropecuaria muchas posibilidades y permitirá con información básica e ingenio en el planteo de las situaciones, lograr provechosos resultados.

3. La tecnología informática, a través de los "Computadores Personales" forma parte cada día más de la vida de nuestras sociedades. No debemos rehuir a su aplicación en la agropecuaria, pues resulta accesible por precio y facilidad de operación.

4. Si con sentido común, introducimos la computación en nuestras actividades y utilizamos y/o adaptamos el "software" (programa) disponible lograremos sustanciales avances y mejoraremos nuestra eficiencia.

## SUMMARY

Points to be considered on choosing decisions in agriculture (Dairy Registers, Linear Programation).

The topic of choosing alternatives in agriculture is analyzed. Pointing out the necessity for information, which should be precise and oportune, and a methodology which makes it possible to maximize the selection of decisions, from the available information. The use of "Personal Computers" to achieve the objective and in agriculture as a whole is outlined.

Remarking its potential and availability mainly due to its price and easy handling, both for the farmer as for the professional.

Dairy production is taken as a pattern and based on it two topics are developed.

-First a system for handling dairy registers.

-Second, the bases of Linear Programation and its usefulness to evaluate information and to maximize the results also with the aid of a computer.

It is concluded that a farming enterprise can get directly or through its professional advisers to the "Personal Computer" technology.

This computer plays an important role in modernizing - them making possible to choose decisions which should be logic, oportune and easy to evaluate.

## BIBLIOGRAFIA

1. Lyon, J. K. 1976. The Data Base Administrator. Wiley & Sons, Inc.
2. Schmidt, G. H.; Van Vleck, L. D. 1974. Bases Científicas de la Producción Lechera. Acribia.  
Facultad de Agronomía. 1978. 1er. Curso Internacional de Producción Lechera. Tomo III. Universidad de la República. FAO. DANIDA.
- Bencke, R. R. and R. O. Winterboer. 1973. Linear programming in agriculture. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Wagner, H. M. 1975. Principles of operations research with applications to managerial decisions. 2nd. ed. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Black, J. P. and Hlubik, J. 1980. Basics of Computerized Linear Programs for Ration Formulation. Symposium: Computer Programs for Dairy Cattle Feeding and Management - Past, Present, and Future. J. Dairy Sci. 63: 1366-1376.
- Bath, D. L. and Bennett, L. F. 1980. Development of a Dairy Feeding Model for Maximizing Income Above Feed Cost with Access by Remote Computer Terminals. J. Dairy Sci. 63: 1379-1389.
- Linn, J. G. and Spike, P. L. Programmable Calculators and Their Application to Feeding and Management of Dairy Cattle. J. Dairy Sci. 63: 1390-1394.
- Shamblin, J. E. and Stevens G. T. Jr. 1974. Operations Research. A fundamental Approach. Mc. Graw Hill Book Co., USA.
10. KnowledgeMan/2. User's Guide. 1985. Micro Data Base Systems.

Fecha No. 1.

Fecha de Envio: 11/06/87

Fecha de Recepción: 11/06/87.

\*\*\* DATOS DE INGRESO \*\*\*

Nº	Fecha	Fecha	Identificación	Identificación
Car.	Actualizacion	Nacimiento	Padre	Madre
0800	01/06/87	15/01/85	1520	0901
0801	01/06/87	20/12/84	1602	0050
0802	01/06/87	10/05/85	1520	0700
0803	10/06/87	15/05/86	0980	0021

FICHA N° 2

Fecha de Envío: 01/08/86      Fecha de Recepción: 01/08/86.

\*\*\*\* DATOS DE MANEJO Y SANITARIOS \*\*\*\*

N°	Fecha	Actividad	Resultado	N°	Nombre	Alta	Vacuna
		Vaca	Actividad Diagnóstica				
			Tratamiento				
0001	09/02/86	F anto	M acho	0410	Perico		
0002	20/07/86	M onta		0021	Porongo		
0020	21/07/86	D iagnostico	V acia				
0715	21/07/86	C. Lutao Pers.				No	
0014	25/07/86	S ecado					
0010	26/07/86	C elo					
0025	28/07/86	E liminada	B aja Prod.				
0006	30/07/86	A borto					
0120	31/07/86	Metritis	Antibióticos			No	

Fecha de Envío: 01/01/86.

Fecha de Recepción: 01/01/86.

\*\*\* DATOS PRODUCTIVOS \*\*\*

N° Vaca	Fecha Actual.	Producción		C. M. T.				Mast. Clin.	OBSERVACIONES
		1°	2° ord.	AD	AI	PD	PI		
0010	01/12/85	10.4	7.5	-	-	-	-	No	
2100	10/12/85	9.5	7.0	1	-	-	1	No	
0115	11/12/85	12.2	10.0	2	1	1	3	No	
0155	11/12/85	13.3	10.5	2	3	3	3	Si	

PLANILLA No 1

Servicio Computarizado de Vacas

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Peres

Nº DICDES: 987654321

UBICACION: Dpto. San José, sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos

Fecha: 25/05/87.-

\*\*\* LISTADO SANITARIO \*\*\*

Nº	Edad	Fecha	Patología	Fecha	Trata- Nº	Prod	Alta	Observaciones
Vaca		Parto	logía	Patología	amiento	Lac.		
0001	4	01/01/87	Metritis	10/01/87	00001	2	Si	Si
0001	3	10/12/85	Retenc. Plac.	20/12/85	00003	1	Si	
0003	7	02/01/87	Claudicación	02/02/87	00002	3	No	No

Cabezal:

Codigo de Patologías:

Codigo de Tratamientos:

Ed = Edad

PLANILLA N° 1 -- Fecha de Emisión: 31/05/67

MASTECTIS

Cód. Ecod	1° Muestra		2° Muestra		3° Muestra		4° Muestra		5° Muestra		6° Muestra		7° Muestra		8° Muestra		9° Muestra	
	AD	PI	AD	PI	AD	PI	AD	PI	AD	PI	AD	PI	AD	PI	AD	PI	AD	PI
0010	5	-	-	-	-	-	1	1	2	1	3	3	-	-	-	-	-	-
0111	4	1	1	1	-	-	1	2	1	2	2	1	2	3	2	3	3	-
0210	7	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3
0011	5	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	2	-	2	2	3	3	-

Código del Cerebral

- AD = Cuarto Mamario Anterior Derecho
- AI = Cuarto Mamario Anterior Izquierdo
- PD = Cuarto Mamario Posterior Derecho
- PI = Cuarto Mamario Posterior Izquierdo

PLANILLA N° 2.

Servicio de Administración Lechero. (SAL)

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Peres

N° DICOSE: 987654321

UBICACION: Dpto. San José, Sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos

Fecha: 25/05/87.-

\*\*\* LISTADO DE VACUNACION CON CEPA 19 \*\*\*

Id.	Fecha	Id.	Id
Vaca	Nacimiento	Madre	Padre
0001	01/01/87	0008	0009
0003	02/01/87	0010	0011



PLANILLA N° 3.

Servicio de Control Lachero (SECOLE)

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Paros N° DICOSE: 987654321

UBICACION: Dpto. San José, Sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos Fecha: 18/03/86.-

\*\*\* DIAGNOSTICO DE PRENEZ \*\*\*

N°	Fecha Ut	N° días	Fecha Ut	Fecha 1°	Días	Edad	N° de	N° de Resultado	
Vaca	Servicio	Servicio	Parto	Parto P-P.	P-1°D	Años	Monedas Lact.	Prof Vac. Dúd	
0001	01/01/86	77	05/11/85	03/12/85	28	5	1	2	X
0003	15/01/86	62	09/11/85	25/12/85	46	6	1	3	X
0101	31/01/86	78	15/09/85	15/11/85	61	8	3	3	X
0003	25/12/86	83	01/10/85	02/11/85	6	2	3	3	X

PLANILLA N° 4.

Servicio de Administración Tamboero. (SAT)

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Peres

UBICACION: Dpto. San José, Sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos

N° DICOSE: 7876847321

Fecha: 14/10/86.-

\*\*\* EXAMEN POST-FARTO \*\*\*

---

N°	Fecha	Días	N°	Edad	Fecha 1°	Observaciones
Vaca	Parto	P-P	Parto		Celo	P-P.
0001	07/10/86	45	3	6	12/11/86	
0003	15/10/86	90	1	4		

---

Servicio de Control Lechero (SECOLE)

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Peres

Nº DICOSE: 987654321

UBICACION: Dpto. San José, Sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos

Fecha: 25/02/87.-

\*\*\* LISTADO DE VACAS A PARIR \*\*\*

Nº	Fecha	Nº	Nº	Abuelo	Abuela	Fecha	Ternero	
Vaca	Probable	Toro	Parto	Materno	Materna	Parto	Sexo Nº	Destino
0001	09/03/87	1020	3	0100	0080	10/03/87	M	0030 Sacrificio
0003	15/03/87	1020	4	0100	0065	15/03/87	H	0031 Cría

PLANILLA No 6

Servicio de Administración Tambero. (SAT)

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Peres                                  N° DICOSE: 927654321

UBICACION: Dpto. San José, Sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos                              Fecha: 30/09/86.-

\*\*\* LISTADO DE VACAS A SECAR \*\*\*

---

N°	Fecha	Días	Prod Ult	Fecha	Ed	Motivo	Fecha	Produc.
Vaca	Recom.	Ordeña	Control	Parto			Secado	Acumul.
0001	09/10/86	305	6.5	10/12/86	4	Prox. Parto	09/10/86	3500
0003	10/10/86	305	9.0	11/12/86	5	Prox. Parto	15/10/86	4000

---

PLANILLA No 7.

Servicio de Control Lechero (GE(DLE)

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Peres

Nº DICOSE: 987654321

UBICACION: Dpto. San José, Sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos

Fecha: 25/05/87.-

\*\*\* LISTADO DE PRODUCCION \*\*\*

Nº	Ed	Dias	Nº Control	Leche		Producción		Prod 305	Dias	
Vaca		Lact	P	Anterior	1º	2º	Acumulada	Proyectada	Gest.	
0001	3	50	1	17.0	2.9	10.5	7.5	850.9	3.800	00
0003	6	120	3	14.0	2.8	12.0	10.6	2.211.0	4.550	50

PLANILLA No 8.

Servicio de Administración Tambero. (SAT)

ESTABLECIMIENTO: "El Vasquito".

PROPIETARIO: Juan Alberto Peres

Nº DICOSE: 987654321

UBICACION: Dpto. San José, Sección Policial 6.

ASESOR TECNICO: Dr. Luis E. Ramos

Fecha: 25/08/87.-

Toro Nº 0091 Edad: 4 años      Peso 490 Kg

Vaca Nº: 0102      Hija

Vaca Nº 0004 Nº Lactación 1      Fech. Nac. 19/12/82

Fecha Prox. Parto 25/10/87

Nº	Fecha	Ed	Prod	Días	Int	Part	Nº	Fecha	Toro	Ternero	Días	
Lact	Parto	P	305d	Lact	I-P	1º	C S	Fertil	Nº	Sex	Nº	Seca
1	05/06/84	3	1.100	300		35	2	09/08/84	0015	M	0110	63
2	10/06/85	4	1.300	310	370	45	3	11/01/86	1011	H	0200	85
3	20/07/86	5	1.450	305	405	60	2	15/12/86	0015	H	0320	

PLANILLA N° 9

MUESTRO DE PRODUCCION

1° Muestreo		2° Muestreo		3° Muestreo		4° Muestreo		5° Muestreo						
Its.	%G	D	Its.	%G	D	Its.	%G	D	Its.	%G	D			
15.6	3.5	20	15.0	3.6	50	14.2	3.0	80	12.5	3.1	120	11.0	3.2	155

6° Muestreo		7° Muestreo		8° Muestreo		9° Muestreo		10° Muestreo						
Its.	%G	D	Its.	%G	D	Its.	%G	D	Its.	%G	D			
10.5	3.3	180	9.0	3.3	208	8.5	3.2	240	8.0	3.2	270	7.2	3.3	300

RESUMEN DEL ESTABLECIMIENTO

Tipo de Vacas	N° de Vacas	Edad Prom.	Largo Prom. Lact.	MES DE JUNIO DE 1987		MES DE JUNIO DE 1986					
				Interv.	Inter	Mensual	Mensual	Diario	Diario	Mastitis	Mastitis
1° Lactación				Parto	Parto	Leche Grasa	Leche Grasa	Leche Grasa	Leche Grasa	Clín. Subcl.	Clín. Subcl.
2° Lactación											
3° Lactación											
>3 lactaciones											
T. Vac. Crdeña											
Total vacas											



	ESTE AÑO		AÑO ANT.		DIAS PARTO	ESTE AÑO		AÑO ANT.	
	Nº	%	Nº	%		CONCEPCION	Nº	%	Nº
Vacas									
Ordeñe			< 30		< 60				
Preñadas			30-60		60 - 120				
Revisar			61-90		> 120				
Vacias			> 90						
Refugo									
V. Masa									
V.O./V.M									

=====

DISTRIBUCION DE SERVICIOS

-----

Nº de Serv.	Este Mes		Mes Año Anterior	
	%vacas	% vaq.	%vacas	%vaq.
1				
2				
3				
4 ó más				
Total				

-----

=====

INTERV. PARTO 1º SERV.

-----

Días	% vacas
<40	
40-50	
51-75	
>75	
Tot. Vac.	
Días From	

=====

!\*\*\*\*\*

!\* CARACTERISTICAS DEL ARCHIVO DE VACAS --- VACAS.DEF ---

!\*\*\*\*\*

Nombre	Tipo	Descripción de los campos
caravana	entero	Nº de caravana
fechactu	alfanumérico 08	Fecha de Actualización
fechanac	alfanumérico 08	Fecha de Nacimiento
origen	alfanumérico 01	Origen del Animal
idmadre	entero	Identificación de la Madre
idpadre	entero	Identificación del Padre
numlacta	entero	Nº de lactación
fechseca	alfanumérico 08	Fecha de Secado
motseca	alfanumérico 01	Motivo del Secado
fechpart	alfanumérico 08	Fecha del Parto
sexo	alfanumérico 01	Sexo del Ternero
fechserv	alfanumérico 08	Fecha del Servicio
rdiagnos	alfanumérico 01	Resultado del Diagnóstico
numservi	entero	No de Servicio
toroserv	entero	Toro que Monta
toronomb	alfanumérico	Nombre del Toro
prodacum	entero	Producción Acumulada
prod305	entero	Producción a 305 días

ARCHIVO DE RESUMENES

```

=====
Nombre_del      Tipo              Descripción
-----
caravana        Int               Nº de caravana.
fparto          alfanumérico     Fecha del último parto
fsecado         alfanumérico     Fecha del último secado
ficelo          alfanumérico     Fecha del 1º Celo post-parto
nservici        entero           Nº de Servicios
fultserv       alfanumérico     Fecha del último servicio
diagnost       alfanumérico     Resultado del diagnóstico de
toro            entero           Identificación del toro que
sexo            alfanumérico     Sexo del último ternero
prodacum       entero           Ultima Prod. Acumulada
prod305        entero           Ultima Prod. a 305 días
=====

```

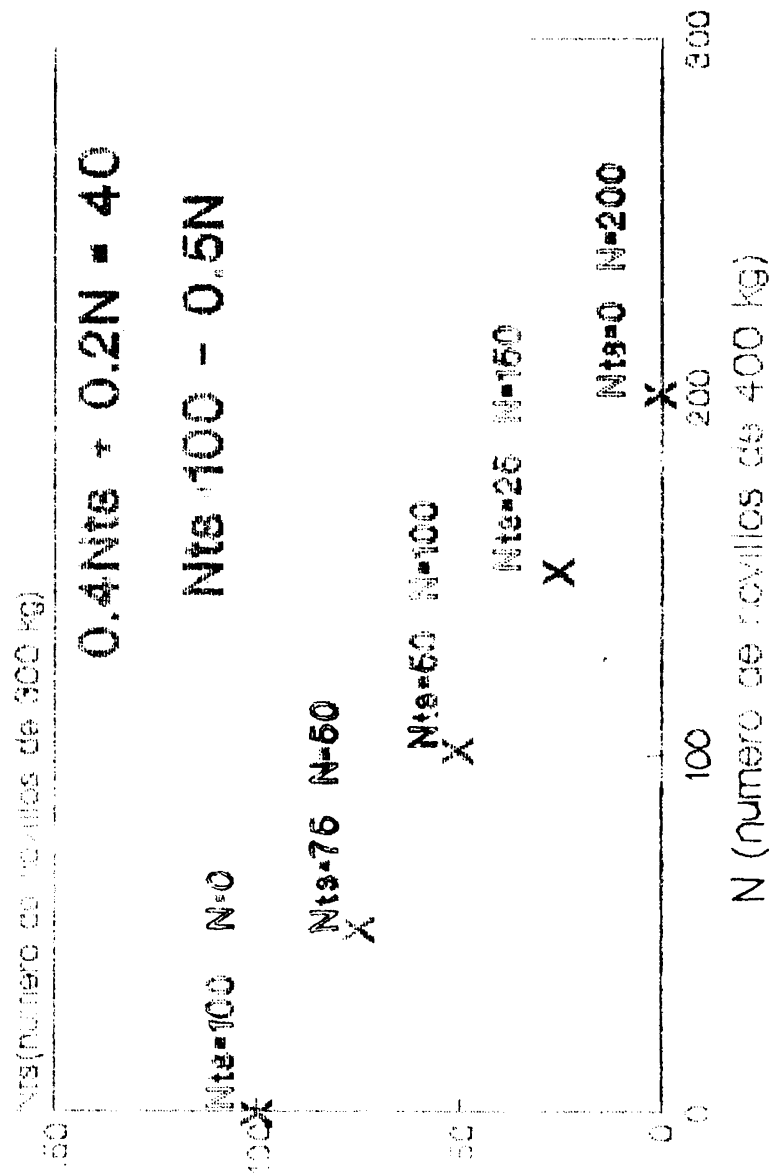
ARCHIVO SANITARIO

```

=====
NOMBRE          TIPO              DESCRIPCION
-----
Caravana        alfanumérico     Nº de Caravana
patologi        alfanumérico     Diagnostico
tratam          alfanumérico     Tratamiento
alta            alfanumérico     Si continua en tratamiento o
fdiagnos        alfanumérico     Fecha del diagnóstico
=====

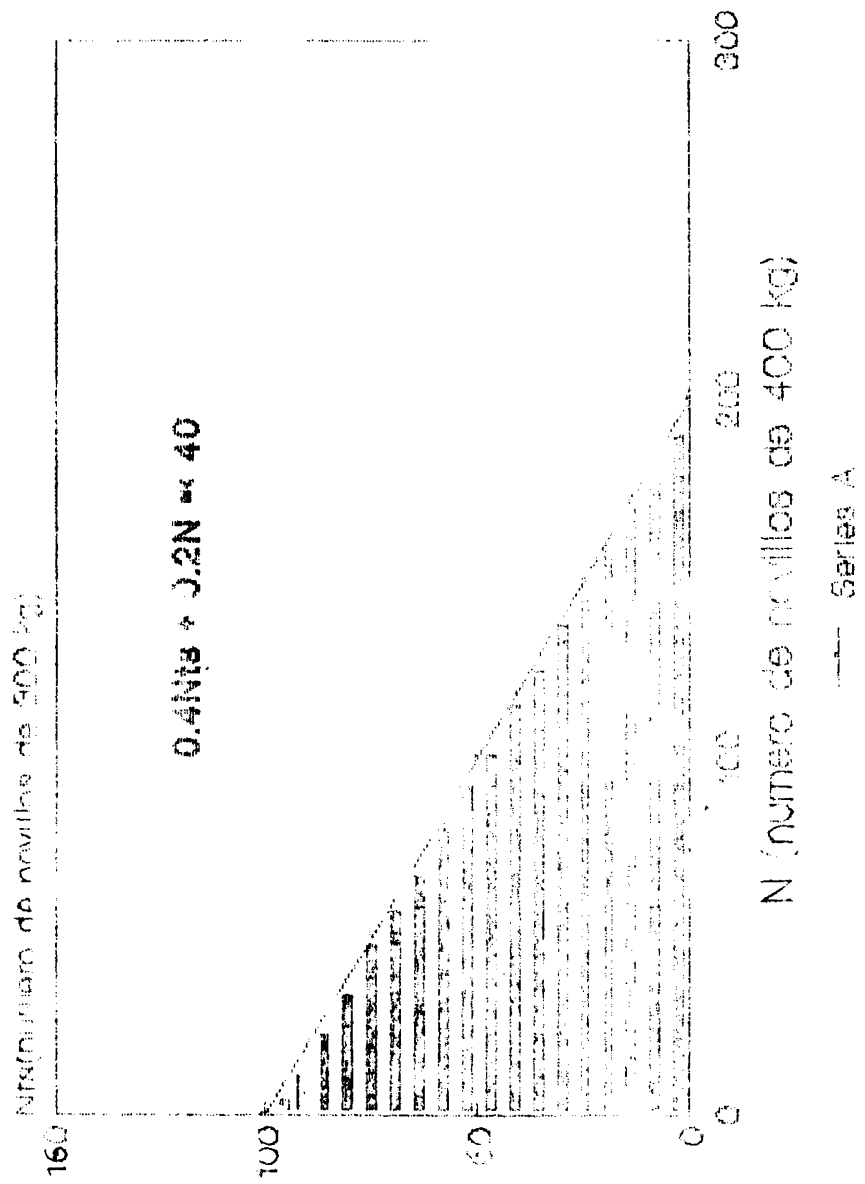
```

# GRAFICA 1.

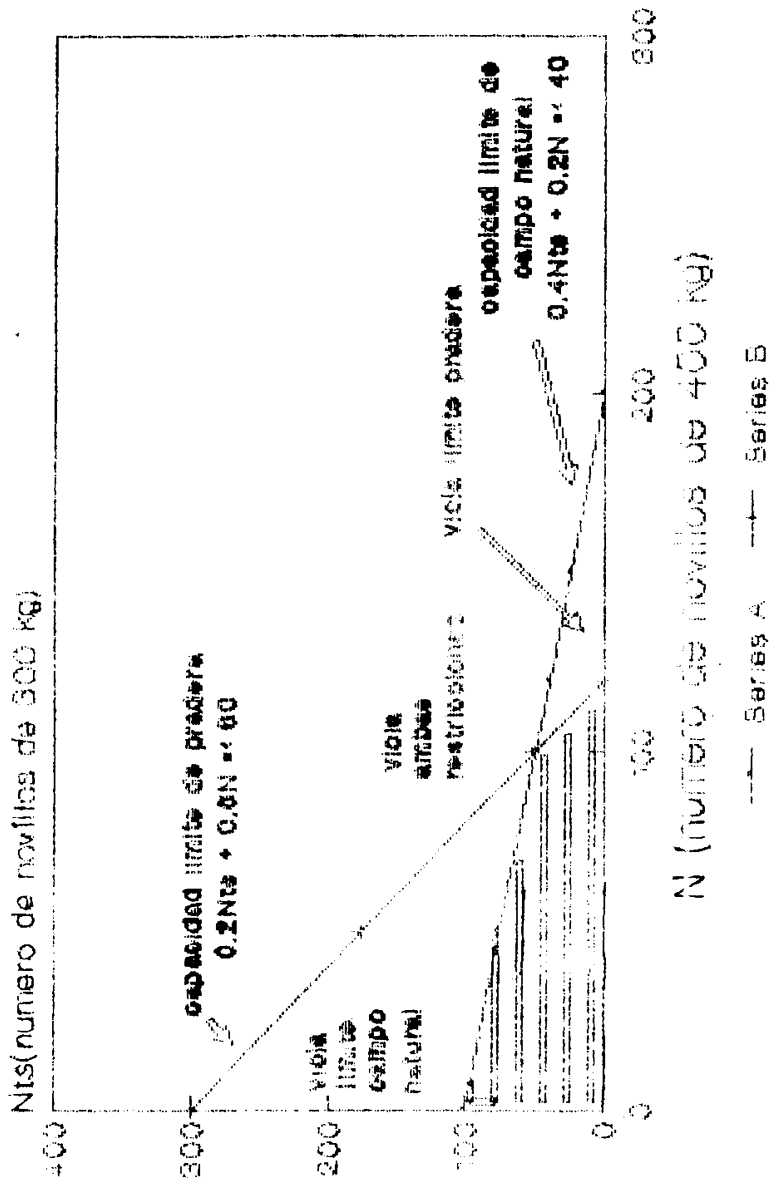


Series A

## GRAFICA 2



### GRAFICA 3



Representacion grafica de las 2 restricciones. El area rayada representa la region permitida