

CONSTRUCCION DE UN MODELO DE PROGRAMACION LINEAL
PARA AGROINDUSTRIAS DEL CENTRO, S. A. de C. V.

MICROISIS:	4384
FECHA:	29/IV/72
ENCARGADO:	Seul

POR

Hernán R. del Alcazar Sáenz

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para los usos que considere necesarios. Para otras personas y otros fines, se reservan los derechos del autor.

HERNAN R. del ALCAZAR SAENZ

El Zamorano, Honduras
Abril, 1971

BIBLIOTECA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

DEDICATORIA

A mis padres por todo su apoyo y cariño durante mis años de estudio fuera de casa.

A mi hermana por estar siempre a mi lado.

A mis parientes y amigos que de una u otra manera me ayudaron a realizar mi carrera.

AGRADECIMIENTO

A mis consejeros por toda la ayuda prestada para realizar este trabajo.

A Agroindustrias del Centro por brindarme la oportunidad de trabajar con ellos durante este año.

A mis compañeros por su amistad y apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION	1
A. Antecedentes	1
B. Definición del Problema	2
C. Objetivos	4
1. General.	4
2. Específicos	4
D. Alcances del Proyecto	5
II. REVISION DE LITERATURA	6
A. Programación Lineal	6
1. Origen.	6
2. Aplicación.	6
3. Definición.	7
4. Requisitos para la formulación de un problema de programación lineal.	8
5. Características de los problemas de programación lineal.	9
a. Proporcionalidad.	9
b. Aditividad.	9
c. Divisibilidad.	9
d. Optimidad.	9
e. Determinicidad.	10
6. Limitaciones de la programación lineal.	10
B. El Método Simplex de Programación Lineal.	11
1. Definición.	11
2. Introducción de variables de holgura y artificiales.	11
3. Fundamento del Método simplex.	12
4. Notación matricial.	12
5. Procedimiento de cómputo para el método Simplex.	13
III METODOLOGIA.	15
A. Construcción de Modelo.	15
1. Actividades del modelo.	15
a. Actividades de producción a granel.	15
b. Actividades de venta de productos empacados.	16
2. Restricciones del modelo.	17
a. Restricciones de materia prima.	17
b. Restricciones de mano de obra.	19
c. Restricciones de equipo.	20
d. Restricciones de demanda.	23

3. Planteamiento de la función objetivo. . .	27
4. Planteamiento de la matriz del modelo. . .	27
5. Descripción algebraica del modelo.	39
IV. RESULTADOS	41
A. Solución Base	41
1. Análisis de Actividades.	41
2. Análisis de Holguras.	41
3. Análisis de penalización.	45
4. Análisis de precios sombra.	45
5. Análisis de sensibilidad del modelo	49
B. Estudio Comparativo.	49
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
VI. RESUMEN	60
VII. BIBLIOGRAFIA	62
VIII. ANEXOS	63

INDICE DE CUADROS

		PAGINA
Cuadro. 1	Restricciones de materia prima principal . . .	21
Cuadro. 2	Restricciones de mano de obra y equipo . . .	22
Cuadro. 3	Restricciones de demanda	26
Cuadro. 4	Resumen de costos variables	28
Cuadro. 5	Coefficientes de la función objetivo	30
Cuadro. 6	Coefficientes técnicos de uso de materia . .	32
Cuadro. 7	Coefficientes técnicos de uso de mano de obra	34
Cuadro. 8	Coefficientes técnicos de uso de equipo . . .	36
Cuadro. 9	Matriz reducida del modelo	37
Cuadro. 10	Solución base	41
Cuadro. 11	Análisis de holgura	43
Cuadro. 12	Análisis de precios sombra	46
Cuadro. 13	Producción y beneficio de la empresa sin el modelo	50
Cuadro. 14	Producción y beneficio de la empresa con el modelo	52
Cuadro. 15	Comparación de cantidad usada de recursos con y sin el modelo	54

INDICE DE ANEXOS

		PAGINA
Anexo. 1	Costos de materia prima principal.	63
Anexo. 2	Costos de materia prima secundaria.	65
Anexo. 3	Costos de material de embutido.	67
Anexo. 4	Costos de material de empaque.	68
Anexo. 5	Costos de mano de obra.	69
Anexo. 6	Costos de depreciación por uso de equipo. . .	71
Anexo. 7	Costos de energía eléctrica por uso de equipo	73
Anexo. 8	Resultados del modelo general.	75
Anexo. 9	Resultados para las restricciones del modelo.	76
Anexo. 10	Resultados del modelo para el estudio comparativo.	79

I. INTRODUCCION

A. Antecedentes

Agroindustrias del Centro es una empresa que se inició el mercado hondureño en enero de 1989, está localizada en el valle del Zamorano, Dpto. Francisco Morazán, se dedica a la elaboración y venta de productos cárnicos.

La venta de productos de la empresa se limita a las ciudades de Tegucigalpa, San Pedro Sula y poblaciones aledañas a estas ciudades.

Los productos se distribuyen en Tegucigalpa directamente al consumidor por medio de un distribuidor de la empresa, y al mercado en general por intermedio de diversos supermercados. En San Pedro Sula se tiene a un distribuidor exclusivo.

La empresa trabaja asociada a Agropecuaria Las Pilas a la cual pertenecen las instalaciones físicas de la planta y además provee parte de carne de cerdo utilizada en las operaciones de la empresa.

La planta procesadora se divide en dos secciones, la de rastro y deshuese que ocasionalmente presta servicio a particulares, y la de elaboración de embutidos, que es donde se realizará el presente estudio.

Puesto que, Agroindustrias del Centro esta iniciando su tercer año de producción, se encuentra en una etapa de

consolidación tanto en el mercado como financieramente, y además tiene una línea relativamente grande de productos, cuyo nombre de marca es GERMANOS. Se ve la conveniencia de adoptar un método que permita lograr la asignación óptima de recursos de la empresa a los distintos productos, determinando la cantidad a elaborar de cada uno, y que al mismo tiempo obtenga el máximo beneficio posible.

Para lograr el objetivo mencionado anteriormente se cuenta en la actualidad con diversas técnicas matemáticas aplicadas a la administración de empresas, entre las que se encuentra la programación lineal, con la cual se pretende plantear un modelo que brinde una herramienta de apoyo dentro de las decisiones administrativas de la empresa.

B. Definición del Problema

La planta de producción de Agroindustrias del Centro trabaja de la siguiente manera en el aprovisionamiento de materia prima para la elaboración de sus productos:

-Materia prima principal. Se considera como materia prima principal a los cortes de res y cerdo usados en la elaboración de embutidos, carnes procesadas y carnes frescas. La empresa compra reses a productores independientes y el pago se hace en base al peso en canal; con los cerdos se hace lo mismo, y en ambos casos se excluye de pago las vísceras, cabezas, patas y cueros que quedan en propiedad de la planta.

Los registros de recibo de animales muestran una gran variabilidad en cuanto a número y peso por lo que se hace

difícil estimar la cantidad de materia prima a procesar.

A parte de la variabilidad, la oferta de animales disminuye considerablemente en el período de enero a mayo debido a la temporada seca en la región, por lo que es necesario comprar animales a mayor precio, lo que trae como consecuencia reajustes de precios a los productos. En lo que respecta a la oferta de cerdos, la situación anterior se atenúa ya que Agropecuaria Las Pilas surte en buena medida a la planta en forma exclusiva aunque no constante.

Los problemas mencionados son los que en mayor grado influyen en la programación de producción, además que esta materia prima representa hasta un ochenta por ciento de los costos totales de producción.

-Materia prima secundaria. Se considera dentro de esta clasificación a todos los condimentos, aditivos, material de embutido y empaque, los cuales se compran fuera del país en forma trimestral y en volúmenes relativamente grandes que garantizan las existencias en inventario.

Dentro del proceso de elaboración se tienen problemas que parten básicamente de la forma en que está montada la línea de producción y los equipos que la componen.

Cada máquina dentro de la línea de producción tiene distinta capacidad, esto trae como consecuencia la existencia de cuellos de botella que no permite que se pueda tener una continuidad en la elaboración de productos, ya que si un producto se encuentra en proceso, otro no podrá entrar en la

línea de elaboración, puesto que tendrá que pasar por largos tiempos de espera. Esto obliga a tener máquinas paradas aunque estén ocupadas.

Tanto los problemas de abastecimiento de materia prima como los relacionados al proceso de elaboración inciden en las entregas de producto al mercado, además de que obligan en muchas ocasiones a que se trabajen horas extras las cuales aumentan el costo del producto final.

La utilización de un modelo de programación lineal no evita la existencia de estos problemas ni garantiza su solución, pero los considera de modo que se pueda lograr un máximo beneficio utilizando óptimamente los recursos de la empresa.

C. Objetivos

1. General.

Elaborar un modelo de programación lineal aplicable y flexible para la sección de carnes procesadas y embutidos de Agroindustrias del Centro que pueda ser usado por la administración como herramienta de apoyo en la toma de decisiones.

2. Específicos

1.- Determinar los factores limitantes que afectan la producción de la sección de carnes procesadas y embutidos de la empresa.

2.- Determinar la mezcla óptima de productos a elaborar que permita obtener el máximo beneficio.

3.- Evaluar la aplicabilidad del modelo en condiciones reales.

D. Alcances del Proyecto

El presente proyecto se realizará exclusivamente en la sección de embutidos y carnes procesadas de Agroindustrias del Centro, considerando a la sección de matanza y deshuese como un proveedor de materia prima.

Al momento de la construcción del modelo, se considerarán precios de mercado y costos de producción vigentes, los cuales podrán ser modificados dentro del modelo para actualizarlo y mantener su utilidad.

Los coeficientes técnicos también podrán ser modificados en el caso de existir cambios futuros dentro de las restricciones de producción y demanda de producto.

II. REVISION DE LITERATURA

A. Programación Lineal

1. Origen.

La programación lineal surgió de la posibilidad de aplicar técnicas matemáticas a la planificación militar. Fue desarrollada por el llamado proyecto SCOOP (Scientific Computation of Optimum Program) conformado por George B. Dantzig, Marshal Wood, John Norton y Murray Geisler; que en base al enfoque interindustrial del modelo insumo producto de Wassily Leontief (1936), crearon en 1947 el método simplex que logra un valor óptimo para un modelo formado por ecuaciones de primer grado, logrando así una herramienta de programación de mucha importancia, aplicable a los mas diversos problemas de optimización en campos como: economía, ingeniería y administración de empresas, Peñafiel (1976).

2. Aplicación.

La programación lineal, como un método de la investigación de operaciones, proporciona una técnica eficiente para determinar una decisión óptima de entre muchas posibles que satisface un objetivo sujeto a varias restricciones, Moskowits y Wright (1982).

Dentro de la administración de empresas, el objetivo esperado es el de optimizar el rendimiento de los recursos

limitados de una empresa, al maximizar sus ingresos o minimizar los costos de producción.

3. Definición.

La programación lineal se define económicamente según Thierauf (1984), como un método de asignación de recursos limitados, en forma tal que se satisfagan las leyes de oferta y demanda para los productos de una empresa.

Formalmente la programación lineal se define dentro de la programación matemática, como un modelo estático determinístico para resolver problemas donde se optimiza una función, necesariamente lineal de n variables o incógnitas no negativas llamada función objetivo, la misma que está sujeta a un conjunto de m restricciones o limitaciones, formadas por funciones lineales que pueden ser igualdades y/o desigualdades, Peñafiel (1976).

Dada una función objetivo:

$$Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$$

Bajo una condición de máximo o mínimo, sujeta a restricciones de la forma:

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \geq b_2$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n = b_m$$

Donde: X_n representa a las variables desconocidas, a_{mn} a los coeficientes conocidos (recursos), c_n representa el costo o la utilidad sobre costos variables del producto y b_m las

restricciones del recurso.

Se debe cumplir la condición básica de que todo X_n tiene que ser ≥ 0 por el hecho de que no se puede producir unidades negativas de un artículo o cantidades negativas de un recurso, Velasco (1990).

4. Requisitos para la formulación de un problema de programación lineal.

Thierauf (1984) propone los siguientes requisitos:

- a. Tiene que establecerse una función objetivo lineal bien definida en términos matemáticos; este objetivo puede ser el de maximizar la contribución utilizando los recursos disponibles, o bien el obtener el mínimo costo posible usando una cantidad limitada de factores productivos.
- b. Debe haber caminos alternativos de acción, siendo posible una selección entre distintas combinaciones de recursos.
- c. La función objetivo y las restricciones deben expresarse matemáticamente en forma de ecuaciones o desigualdades lineales.
- d. Las variables que describen el problema deben estar interrelacionadas.
- e. Los recursos deben ser de aprovisionamiento limitado y económicamente cuantificables.

5. Características de los problemas de programación lineal.

a. Proporcionalidad.

En un modelo de programación lineal, la función objetivo y cada restricción de las variables de decisión deben ser lineales; es decir, el indicador de eficiencia (máxima utilidad o mínimo costo) en la función objetivo y la cantidad de recursos usados tienen que ser proporcionales al valor de cada variable de decisión considerada individualmente.

b. Aditividad.

Es necesario que cada variable sea aditiva respecto a la utilidad (o costo) y a la cantidad de recurso usado.

c. Divisibilidad.

En Muchos problemas es frecuente el caso de que las variables de decisión puedan tener significado físico solamente si tienen valores enteros. Por tanto es necesario que para obtener una solución óptima, los valores fraccionarios de las variables de decisión sean descontados.

d. Optimidad.

Una solución óptima (máxima utilidad o mínimo costo) siempre ocurre en uno de los vértices del conjunto de soluciones factibles, Moskowits y Wright (1982).

e. Determinicidad.

Se asume que todos los parámetros del modelo son constantes durante su aplicación. Dorfman (1967).

6. Limitaciones de la programación lineal.

Como cualquier otro procedimiento matemático aplicado a la solución de los problemas de una unidad de producción la programación lineal tiene algunas limitaciones:

- La solución lograda sólo presenta las cantidades óptimas deseadas que se requieren de cada factor de producción, pero no precisa el orden de elaboración ni la distribución de los productos a elaborar.
- El modelo por ser lineal, no toma en cuenta las leyes de rendimientos y de costos decrecientes.
- El modelo incluye únicamente variables cuantitativas, por lo que al momento de tomar una decisión sobre una solución óptima, es necesario considerar que los factores cualitativos que intervienen en el problema pueden inclinar a una modificación sobre la solución final empleando más el criterio de la dirección que las matemáticas, Stansbury (1968).
- Los coeficientes técnicos así como, las restricciones y factores de costo, pueden cambiar continuamente lo que implica un costo para el mantenimiento del modelo a lo largo del tiempo.

B. El Método Simplex de Programación Lineal.

Por lo general los problemas de aplicación práctica de programación lineal implican un gran número de variables y restricciones que determina un considerable incremento en la complejidad matemática para llegar a una solución; la forma para resolver este tipo de problemas se hace posible mediante la aplicación del método Simplex.

La finalidad del uso del método Simplex, según Stansburry (1968), es la de alcanzar el juego concreto de variables que satisfaga todas las limitaciones y optimice el valor de una función objetivo con el mínimo esfuerzo de cálculo.

1. Definición.

Thierauf (1984), define el método Simplex como un proceso iterativo donde se aplica la misma rutina de cómputo básica una y otra vez, dando como resultado una serie de soluciones sucesivamente mejoradas. Una característica de este método es que la última solución da una contribución igual o mayor que la solución anterior dado un problema de maximización.

2. Introducción de variables de holgura y artificiales.

Para poder resolver un problema con el método Simplex, se requiere que las restricciones involucradas con relaciones de desigualdad ($< o >$), sean convertidas a igualdades por medio de la introducción de variables de holgura también llamadas remanentes, Moskowitz y Wright (1982).

Las variables de holgura indican el excedente de recurso o de requerimiento para una restricción dada. Si la inecuación es de tipo \leq , la variable se introducirá con signo positivo, y con signo negativo en el caso contrario.

En la función objetivo las variables de holgura son coeficientes nulos, Peñafiel (1976).

3. Fundamento del Método simplex.

El método Simplex tiene su fundamento en la solución de un sistema de restricciones, el cual determina la región de soluciones posibles, expresando las variables dependientes en función de las variables independientes, de modo que la función objetivo quede expresada únicamente en términos de estas últimas. Así se obtiene un criterio lógico para determinar si se ha logrado una solución óptima, por medio de la sustitución de variables independientes con dependientes y viceversa hasta lograr un valor máximo o mínimo de la función objetivo, Peñafiel (1976).

4. Notación matricial.

El método Simplex utiliza el algebra de matrices para resolver un sistema de ecuaciones simultaneas, Tomando en cuenta la función objetivo y las restricciones un problema puede ser planteado matricialmente del siguiente modo:

Max $Z = c^T x$, Función económica u objetivo.

Sujeta a:

$Ax \leq B$; $x_j \geq 0$

Donde:

$X = \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ . \\ . \\ x_n \end{matrix}$ = Vector o matriz columna
de variables

$C = \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ . \\ . \\ c_n \end{matrix}$ = Matriz columna que da la
importancia relativa a cada
variable

$A = \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & . & . & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & . & . & a_{2n} \\ . \\ . \\ . \\ a_{m1} & a_{m2} & . & . & a_{mn} \end{matrix}$ = Matriz tecnológica $m \times n$

$B = \begin{matrix} b_1 \\ b_2 \\ . \\ . \\ b_m \end{matrix}$ = Vector o matriz columna que indica
la disponibilidad de recursos.

5. Procedimiento de cómputo para el método Simplex.

Stansbury (1968), propone el siguiente procedimiento:

1.- Estructurar el problema.

- a. Seleccionar las variables pertinentes y las limitaciones.
- b. Expresar las relaciones entre todas las variables y límites en forma de ecuaciones de primer grado.

- c. Determinar la función objetivo o medida de efectividad.
- 2.- Desarrollar una solución inicial factible.
 - a. Técnicamente cualquier solución básica factible es aceptable.
 - b. Por motivos prácticos, se elige normalmente la solución del origen.
 - 3.- Valorar las variables alternativas que se puedan producir en el problema.
 - 4.- Seleccionar una de las variables y determinar el número de unidades de cada variable representado por la solución revisada.
 - 5.- Hacer las correcciones necesarias para expresar las nuevas proporciones de sustitución entre las variables de la solución y todas las demás.
 - 6.- Repetir las fases 3,4 y 5 hasta que un análisis en la fase 3 revele que no se pueden hacer más cambios favorables.

III METODOLOGIA.

A. Construcción de Modelo.

1. Actividades del modelo.

Para la construcción del modelo se consideraron dos grupos de actividades en base a la forma de comercialización (granel o paquetes), y los destinos de los diferentes productos.

a. Actividades de producción a granel.

A este grupo de actividades pertenecen todos los productos que son vendidos a granel a distribuidores varios incluyendo el local de la empresa en Tegucigalpa, se identifican en el modelo de la siguiente forma:

- DA1 Producción y venta de Jamón York a granel.
- DA2 Producción y venta de Jamón de res a granel.
- DA3 Producción y venta de Jamón de lomito a granel.
- DA4 Producción y venta de Jamón crudo de cerdo a granel.
- DA5 Producción y venta de Tocino "Bacon" a granel.
- DA6 Producción y venta de Chuleta Ahumada a granel.
- DA7 Producción y venta de Salamin Catalán a granel.
- DA8 Producción y venta de Copetín fino a granel.
- DA9 Producción y venta de Arrollado Chileno a granel.
- DA10 Producción y venta de Salchichón Alemán a granel.
- DA11 Producción y venta de Pastete a granel.

- DA12 Producción y venta de Jamonada a granel.
- DB1 Producción y venta de Salame Kayser a granel.
- DB2 Producción y venta de Salame Kayser rollo a granel.
- DB3 Producción y venta de Frankfurter a granel.
- DB4 Producción y venta de Longaniza a granel.
- DB5 Producción y venta de Mortadela Alemana a granel.
- DB6 Producción y venta de Salchicha Campesina a granel.
- DB7 Producción y venta de Costillar Ahumado a granel.
- DB8 Producción y venta de Chorizo Catracho a granel.
- DB9 Producción y Venta de Copetín Popular a granel.
- DC1 Producción y Venta de Salchichón Leonés a granel.
- DC2 Producción y venta de Salchicón Leonés rollo a granel
- DC3 Producción y Venta de Morcilla Especial a granel.
- DC4 Producción y Venta de Chorizo Criollo a granel.
- DC5 Producción y venta de Mortadela Popular a granel.
- DC6 Produccion y venta de Chorizo Popular a granel.

b. Actividades de venta de productos empacados.

A este grupo pertenecen los productos que, a más de sufrir los procesos de transformación, son rebanados y empacados al vacío en unidades de aproximadamente 0.425 libras, para ser vendidos a distribuidores varios, se presentan en el modelo de la siguiente forma:

- PA1 Producción y venta de Jamón York empacado.
- PA2 Producción y venta de Jamón de res empacado.
- PA4 Producción y venta de Jamón crudo de cerdo empacado.
- PA5 Produccion y venta de Tocino Bacon para empacado.

- PA7 Producción y venta de Salamin Catalán empaçado.
- PA9 Producción y venta de Arrollado Chileno empaçado.
- PA12 Producción y venta de Jamonada empaçado.
- PB1 Producción y venta de Salame Kayser empaçado.
- PB3 Producción y venta de Frankfurter empaçado.
- PB4 Producción y venta de Longaniza empaçado.
- PB5 Producción y venta de Mortadela Alemana empaçado.
- PB6 Producción y venta de Salchicha Campesina empaçado.
- PB9 Producción y Venta de Copetín Popular empaçado.
- PC1 Producción y Venta de Salchichón Leonés empaçado.
- PC3 Producción y Venta de Morcilla Especial empaçado.
- PC5 Producción y venta de Mortadela Popular empaçado.

Los productos tomados en cuenta en los grupos de actividades mencionados sufren en su mayoría los mismos procesos de transformación, que en general para embutidos son: molido, emulsificado, mezclado, embutido, ahumado y cocción. las carnes procesadas comparten con los embutidos el ahumado y la cocción, siendo previamente inyectadas con salmuera.

2. Restricciones del modelo.

Se considera como una restricción en el modelo a todos los factores que limitan el proceso de producción y venta de productos de la empresa y, están representadas por filas en la matriz del modelo.

a. Restricciones de materia prima.

Se consideró como restricciones de materia prima

sólamente los cortes de: res, cerdo y subproductos, utilizados para la elaboración de embutidos y carnes procesadas; la razón de esto es que la materia prima usada como: condimentos, aditivos, material de embutido empaque y otros, no representan una restricción para el proceso de producción ya que su disponibilidad se garantiza al ser su adquiridos en volúmenes grandes; mientras que el abastecimiento de reses y cerdos, está limitado por condiciones de mercado, época del año y la falta de infraestructura actual en la planta que no permite mantener un inventario constante de cortes de res y cerdo.

Para poder estimar la cantidad de cortes cárnicos disponible semanalmente se utilizaron los rendimientos esperados de cada corte que se puede obtener de la faena y deshuese de cada tipo de animal, los coeficientes de rendimiento resultaron de pruebas realizadas por la empresa con animales de peso promedio en canal.

En el modelo, las restricciones de materia prima principal (cuadro 1), se presentan como la máxima disponibilidad semanal de cada corte de la siguiente forma:

- MC1 Máxima disponibilidad semanal de cerdo 1.
- MC2 Máxima disponibilidad semanal de cerdo 2.
- MCP Máxima disponibilidad semanal de pierna de cerdo.
- MCT Máxima disponibilidad semanal de tocino.
- MCC Máxima disponibilidad semanal de costilla de cerdo.
- MCH Máxima disponibilidad semanal de Chuleta.
- MCL Máxima disponibilidad semanal de lomo de cerdo.

- MJC Máxima disponibilidad semanal de jamón crudo.
- MGL Máxima disponibilidad semanal de grasa de lonja.
- MG2 Máxima disponibilidad semanal de grasa 2.
- MCA Máxima disponibilidad semanal de cabeza de cerdo.
- MPC Máxima disponibilidad semanal de pelleja.
- MCS Máxima disponibilidad semanal de sangre.
- MR1 Máxima disponibilidad semanal de res 1.
- MR2 Máxima disponibilidad semanal de res 2.
- MR3 Máxima disponibilidad semanal de res 3.
- MJR Máxima disponibilidad semanal de jamón de res.
- MSC Máxima disponibilidad semanal de subproductos cocidos.
- MRP Máxima disponibilidad semanal de recortes varios.

b. Restricciones de mano de obra.

El la operación de producción de embutidos intervienen tres trabajadores que reúnen una cantidad máxima semanal de 132 horas, aparte de la operación de transformación se cuenta con un empleado que se dedica a inyectar con salmuera las piezas de carne para ser procesadas, completando un máximo semanal de 44 horas. En la operación de empaque trabajan con dos empleadas que juntas reúnen un máximo semanal de 88 horas.

Las restricciones de mano de obra se expresan de la siguiente manera en el modelo, y se presentan en el cuadro 2

MO1. Máximo de mano de obra semanal disponible para la operación de producción.

MO2. Máximo de mano de obra semanal disponible para inyectar salmuera.

M03. Máximo de mano de obra semanal disponible para empaque.

c. Restricciones de equipo.

Las restricciones de este grupo toman en cuenta la máxima disponibilidad semanal de equipo (cuadro 2), se parte del hecho de que cada maquina puede trabajar ocho horas diarias, acumulando semanalmente 44 horas en total.

Las restricciones de disponibilidad de equipo en el modelo se identifican como sigue:

MHE1. Máxima disponibilidad de horas por semana de molino.

MHE2. Máxima disponibilidad de horas por semana de cutter.

MHE3. Máxima disponibilidad de horas por semana de mezclador.

MHE4. Máxima disponibilidad de horas por semana de embutidor.

MHE5. Máxima disponibilidad de horas por semana de ahumador.

MHE6. Máxima disponibilidad de horas por semana de escaldador.

MHE7. Máxima disponibilidad de horas por semana de inyector.

MHE8. Máxima disponibilidad de horas por semana de rebanador.

MHE9. Máxima disponibilidad de horas por semana de sellador.

Cuadro. 1 Restricciones de materia prima principal.

Cortes.		Dirección	Nivel*
MC1	Cerdo 1	<=	672.00
MC2	Cerdo 2	<=	442.70
MCP	Pierna de cerdo	<=	1,162.85
MCT	Tocino	<=	302.03
MCC	Costilla de cerdo	<=	97.00
MCH	Chuleta	<=	320.25
MCL	Lomo de cerdo	<=	20.00
MCJ	Jamón crudo	<=	150.70
MGL	Grasa de lonja	<=	382.25
MG2	Grasa 2	<=	81.19
MCA	Cabeza de cerdo	<=	343.90
MPC	Pelleja	<=	263.50
MCS	Sangre	<=	210.00
MR1	Res 1	<=	9,243.00
MR2	Res 2	<=	9,385.00
MR3	Res 3	<=	713.50
NJR	Jamón de res	<=	698.80
MSC	Subprod. Coc.	<=	300.00
MRP	Cortes varios	<=	300.00

* Nivel en libras.

Fuente: el autor.

Cuadro. 2 Restricciones de mano de obra y equipo.

		Dirección	Nivel
Mano de obra.			
MO1	Transformación	<=	132 Hr
MO2	Inyección	<=	44 Hr
MO3	Empaque	<=	88 Hr
Equipo.			
MHE1	Molino	<=	44 Hr
MHE2	Cutter	<=	44 Hr
MHE3	Mescladora	<=	44 Hr
MHE4	Embutidora	<=	44 Hr
MHE5	Ahumador	<=	44 Hr
MHE6	Escaldadora	<=	44 Hr
MHE7	Inyector	<=	44 Hr
MHE8	Rebanadora	<=	44 Hr
MHE9	Empacadora	<=	44 Hr

Fuente: el autor.

d. Restricciones de demanda.

Dentro de las restricciones de demanda (cuadro 3) se consideran las dos actividades del modelo de la siguiente forma : Venta a granel de productos para el local (Germanos), venta a granel de productos a distribuidores y venta de productos empacados a distribuidores, se hace esta distinción de restricciones ya que una de las políticas de la empresa es la de surtir prioritariamente a su local en tegucigalpa ya que representa un 27.31 % de la venta total de producto.

Para determinar la cantidad demandada semanalmente de productos por parte del local (Germanos), se consideraron los registros de entrega de producto, los cuales por lo general, coinciden con los pedidos hechos esto se debe a la política antes mencionada.

Las restricciones de demanda semanal por parte del local (Germanos), se expresan en el modelo de la siguiente manera:

- RGDA1. Producción máxima de Jamón York para Germanos.
- RGDA2. Producción máxima de Jamón de res para Germanos.
- RGDA3. Producción máxima de Jamón de lomito para Germanos.
- RGDA4. Producción máxima de Jamón crudo/cerdo para Germanos.
- ...
- ...
- RGDA12. Producción máxima de Jamonada para Germanos.
- RGDB1. Producción máxima de Salame Kayser para Germanos.
- ...
- RGDB9. Producción máxima de Copetín Popular para Germanos.

RGDC1. Producción máxima de Salchichón Leonés para Germanos.

...

...

RGDC6. Producción máxima de Chorizo Popular para Germanos.

La venta de productos a los diferentes distribuidores se hacen bajo pedido; para poder definir un valor máximo de producción destinada a ventas a granel y en paquetes se requiere de un registro de pedidos, que en la actualidad no se lleva en la empresa, la cual estima que en general se cumple con los pedidos con un margen del 10%, en el caso de este trabajo se estimó la demanda semanal de productos en base a los pedidos que pudieron ser recolectados durante la elaboración del modelo.

Las restricciones de demanda semanal de productos para venta a granel y empacados se encuentran en el modelo de la siguiente manera:

Producción semanal máxima a granel para venta a distribuidores:

RDDA1. Producción máxima de Jamón York a granel.

RDDA2. Producción máxima de Jamón de res a granel.

RDDA3. Producción máxima de Jamón de lomo a granel.

RDDA4. Producción máxima de Jamón crudo/cerdo a granel.

...

...

...

RDDA12. Producción máxima de Jamonada a granel.

- RDDB1. Producción máxima de Salame Kayser a granel.
 ...
 ...
 RDDB9. Producción máxima de Copetín Popular a granel.
 RDDC1. Producción máxima de Salchichón Leonés a granel.
 ...
 ...
 RDDC8. Producción máxima de Chorizo Popular a granel.
 Producción máxima semanal de producto empacado para
 venta a distribuidores.
- RPA1. Producción máxima de Jamón York empacado.
 RPA2. Producción máxima de Jamón de res empacado.
 RPA4. Producción máxima de Jamón crudo de cerdo empacado.
 RPA5. Producción máxima de Tocino Bacon empacado.
 RPA7. Producción máxima de Salamin Catalán empacado.
 RPA9. Producción máxima de Arrollado Chileno empacado.
 RPA12. Producción máxima de Jamonada empacado.
 RPB1. Producción máxima de Salame Kayser empacado.
 RPB3. Producción máxima de Frankfurter empacado.
 RPB4. Producción máxima de Longaniza empacado.
 RPB5. Producción máxima de Mortadela Alemana empacado.
 RPB6. Producción máxima de Salchicha Campesina empacado.
 RPB8. Producción máxima de Copetín Popular empacado.
 RPC1. Producción máxima de Salchichón Leonés empacado.
 RPC3. Producción máxima de Morcilla Especial empacado.
 RPC5. Producción máxima de Mortadela Popular empacado.

Cuadro. 3 Restricciones de demanda.

ACTIVIDAD	A	N	(1)	A	N	(2)	A	N	(3)
da1.	ESDA1	>=	99.50	ESDA1	<=	127.00	EPDA1	<=	68.00
da2.	ESDA2	>=	15.00	ESDA2	<=	26.00	EPDA2	<=	43.12
da3.	ESDA3	>=	4.00	ESDA3	<=	4.00	EPDA3		
da4.	ESDA4	>=	4.00	ESDA4	<=	4.00	EPDA4	<=	10.00
da5.	ESDA5	>=	112.00	ESDA5	<=	152.70	EPDA5	<=	40.00
da6.	ESDA6	>=	221.00	ESDA6	<=	258.00	EPDA6		
da7.	ESDA7	>=	11.00	ESDA7	<=	22.00	EPDA7	<=	20.80
da8.	ESDA8	>=	23.00	ESDA8	<=	38.70	EPDA8		
da9.	ESDA9	>=	21.00	ESDA9	<=	21.00	EPDA9	<=	13.20
da10.	ESDA10	>=	18.00	ESDA10	<=	26.00	EPDA10		
da11.	ESDA11	>=	13.00	ESDA11	<=	33.30	EPDA11		
da12.	ESDA12	>=	271.00	ESDA12	<=	613.00	EPDA12	<=	136.00
db1.	ESDB1	>=	109.00	ESDB1	<=	253.00	EPDB1	<=	98.12
db2.	ESDB2	>=	12.00	ESDB2	<=	122.00	EPDB2		
db3.	ESDB3	>=	145.00	ESDB3	<=	246.20	EPDB3	<=	81.00
db4.	ESDB4	>=	12.00	ESDB4	<=	52.00	EPDB4	<=	13.20
db5.	ESDB5	>=	0.00	ESDB5	<=	41.00	EPDB5	<=	209.00
db6.	ESDB6	>=	100.00	ESDB6	<=	15.00	EPDB6	<=	47.00
db7.	ESDB7	>=	28.25	ESDB7	<=	52.25	EPDB7		
db8.	ESDB8	>=	70.00	ESDB8	<=	81.00	EPDB8		
db9.	ESDB9	>=	0.00	ESDB9	<=	11.00	EPDB9	<=	54.00
dc1.	ESDC1	>=	36.00	ESDC1	<=	56.75	EPDC1	<=	143.00
dc2.	ESDC2	>=	4.00	ESDC2	<=	125.00	EPDC2		
dc3.	ESDC3	>=	28.00	ESDC3	<=	28.00	EPDC3	<=	7.00
dc4.	ESDC4	>=	12.00	ESDC4	<=	148.50	EPDC4		
dc5.	ESDC5	>=	0.00	ESDC5	<=	302.50	EPDC5	<=	0.00
dc6.	ESDC6	>=	0.00	ESDC6	<=	51.17	EPDC6		

A. Restricción.

1. Dirección de la restricción.

1 Nivel de restricción para Germanos.

2 Nivel de restricción para distribuidores.

3 Nivel de restricción para producto empacado.

Fuente: Agroindustrias del Centro.

3 Planteamiento de la función objetivo.

La función objetivo dentro del modelo es la que se quiere maximizar, está definida por una variable independiente Z la cual será igual al beneficio máximo total sobre costos variables (cuadro 4). Las variables independientes representan todas las actividades de producción, son positivas y sus coeficientes (cuadro 5), equivalen al beneficio sobre costos variables para cada actividad de producción en base a una unidad de 120 libras de producto.

A continuación se presenta una versión resumida de la función objetivo del modelo.

$$\text{Maximizar } Z = 422.23x_{dA1} + \dots + 218.81x_{dB2} + \dots + 397.59x_{pC5}$$

4 Planteamiento de la matriz del modelo.

En la matriz del modelo se presentan la función objetivo, las restricciones de producción asociadas a su límite por un signo de igualdad o desigualdad y los coeficientes técnicos para cada actividad (cuadros 6,7 y 8). Las columnas de la matriz representan a las actividades de producción, las líneas, a las restricciones de producción y en las intersección entre líneas y columnas se encuentran los coeficientes técnicos, los cuales definen la cantidad de factores o insumos que se requieren para cada actividad. La sumatoria de los coeficientes de una línea multiplicados por la cantidad a elaborar de cada producto debe estar dentro de los límites impuestos a la restricción contenida en esa línea

para poder obtener una solución factible al modelo. En el cuadro 9 se presenta la matriz resumida del modelo donde se pueden observar los elementos mencionados.

Cuadro. 4 Resumen de costos variables
Expresado en lps. por 120 lbs. de producto.

ACTIVIDAD PRINCIPAL	MATERIA PRIMA SECUNDARIA	MATERIA PRIMA SECUNDARIA	MATERIAL DE EMBUTIDO	GASTO DE OBRA	EQUIPO	TOTAL COSTOS V.
da1	781.20	182.62	0.00	13.71	34.24	1,011.77
da2	732.00	182.62	0.00	3.87	50.04	968.52
da3	814.80	182.62	0.00	4.12	0.18	1,001.72
da4	804.00	182.62	0.00	1.16	0.00	987.78
da5	764.40	182.62	0.00	5.52	13.87	966.41
da6	764.40	182.62	0.00	4.70	59.91	1,011.63
da7	620.50	29.58	34.00	5.74	2.37	692.19
da8	520.05	76.22	105.17	8.14	7.68	717.27
da9	462.08	19.77	0.00	6.28	4.80	492.94
da10	559.68	33.61	37.97	6.78	21.61	659.64
da11	240.32	37.65	0.00	5.67	36.13	319.77
da12	444.60	43.50	22.14	5.53	31.64	547.41
db1	456.10	54.18	44.29	5.81	24.68	585.06
db2	456.10	54.18	50.62	6.28	23.28	592.46
db3	345.35	49.05	105.17	8.33	56.92	564.82
db4	438.94	53.19	30.00	5.87	6.47	534.47
db5	416.02	51.94	25.09	3.55	34.48	531.08
db6	394.86	60.01	40.00	8.74	20.70	524.31
db7	462.00	182.62	40.00	1.32	38.67	724.60
db8	385.74	15.02	0.00	15.50	5.40	421.67
db9	515.71	55.77	105.17	8.06	3.37	688.07
dc1	368.10	53.76	44.29	6.42	21.28	493.86
dc2	368.10	53.76	50.62	7.03	21.83	501.34
dc3	74.80	14.74	30.00	6.28	7.64	133.47
dc4	256.45	11.24	40.00	6.28	1.03	315.01
dc5	142.69	24.72	26.57	5.74	23.05	222.76
dc6	256.45	15.12	50.00	6.28	8.56	336.41

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A. de C.V.

Cuadro. 4 (Continuación)

ACTIVIDAD	MATERIA PRIMA PRINCIPAL	MATERIA PRIMA SECUNDARIA	MATERIAL DE EMBOLDO	MATERIAL DE EMPAQUE	MANO DE OBRA	EQUIPO	TOTAL COSTOS V.
pa1	781.20	182.62	0.00	32.79	20.38	38.02	1,053.00
pa2	732.00	182.62	0.00	26.32	11.60	51.33	1,003.86
pa4	804.00	182.62	0.00	32.79	7.83	1.26	1,028.49
pa5	764.40	182.62	0.00	32.79	12.25	15.13	1,007.18
pa7	620.50	29.58	34.00	32.79	9.99	3.06	729.93
pa9	452.08	19.77	0.00	32.79	13.01	7.99	535.65
pa12	444.60	43.50	27.14	26.32	12.95	32.73	582.23
pb1	456.10	54.18	44.29	26.32	13.54	24.63	619.26
pb3	345.35	49.05	105.17	26.32	13.53	57.00	596.42
pb4	438.94	53.19	30.00	32.79	19.13	7.02	572.06
pb5	416.02	51.94	25.09	26.32	10.97	34.70	565.03
pb6	394.86	60.01	40.00	32.79	13.94	21.06	562.66
pb9	515.71	55.77	105.17	26.32	12.32	3.50	718.78
pc1	368.10	53.76	44.29	26.32	13.84	21.49	527.80
pc3	74.80	14.74	30.00	32.79	10.54	5.23	171.11
pc5	142.69	24.72	26.57	32.79	12.31	23.33	262.41

Los costos en detalle se pueden apreciar en los anexos 1-7

Cuadro.5 Coeficientes (B) de la función objetivo.

Actividad Granel	Precio libra.	Total costos variables.	Beneficio (B) por 120 Lb.
da1.	11.95	1,011.77	422.23
da2.	10.80	968.52	327.48
da3.	13.80	1,001.72	654.28
da4.	11.30	987.78	368.22
da5.	8.20	966.41	17.59
da6.	8.20	1,011.63	(27.63)
da7.	9.25	692.19	417.81
da8.	8.75	717.27	332.73
da9.	7.45	492.84	401.06
da10.	9.95	659.64	534.36
da11.	6.10	319.77	412.23
da12.	8.05	547.41	418.59
db1.	6.70	585.06	218.94
db2.	9.35	592.46	529.54
db3.	6.50	564.82	215.18
db4.	7.15	534.47	323.53
db5.	6.40	531.08	236.92
db6.	5.95	524.31	189.69
db7.	7.15	724.60	133.40
db8.	5.70	421.67	262.33
db9.	8.50	688.07	331.93
dc1.	5.80	493.86	202.14
dc2.	7.50	501.34	398.66
dc3.	3.30	133.47	262.53
dc4.	4.20	315.01	188.99
dc5.	3.95	222.76	251.24
dc6.	4.50	336.41	203.59

Beneficio por 120 lbs de producto

Cuadro.5 (Continuación).

Actividad Paquetes.	Precio libra.	Total costo variables	Beneficio (B). Por 120 Lb.
pa1.	6.20	1,053.00	807.00
pa2.	5.40	1,003.86	616.14
pa4.	5.65	1,028.49	666.51
pa5.	4.30	1,007.18	282.82
pa7.	5.05	729.93	785.07
pa9.	3.80	535.65	604.35
pa12.	4.15	582.23	662.77
pb1.	3.60	619.26	460.74
pb3.	3.50	596.42	453.58
pb4.	3.70	572.06	537.94
pb5.	3.40	565.03	454.97
pb6.	3.15	562.66	382.34
pb9.	4.45	718.78	616.22
pc1.	3.10	527.80	402.20
pc3.	1.95	171.11	413.89
pc5.	2.20	262.41	397.59

Beneficio por 120 lbs de producto

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A. de C.V.

Cuadro. 6. Coeficientes técnicos de uso de Materia prima principal

ACTIVIDAD	a1.ª	a2.ª	a3.	a4.ª	a5.ª	a6.	a7.ª	a8.	a9.ª	a10.	a11.	a12.ª
Costilla										24.00	25.20	
Grasa g	120.00											
Pierna					120.00							
Tocino												
Filete												
Chuleta						120.00						
Lomo			120.00									
J. Crudo						120.00						
Pelaja								20.00				
Grasa l.							15.00	39.00			24.00	15.50
Cerdo I							60.00	75.50		42.00		63.50
Cerdo II							40.00	9.00			24.00	
Sangre												
Cabeza c												
Filete												
Lomo												
J. de res			120.00									
Res I									10.25	54.00		9.10
Res II									7.50			
Res III												
S.P.C.												26.40
Recortes												

* Productos a granel y en paquete.
Detalle para 120 lbs. de producto.

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A. de C.V.

Cuadro. 6 (continuación).

ACTIVO	b1.*	b2.	b3.*	b4.*	b5.*	b6.*	b7.	b8.	b9.*	c1.*	c2.	c3.*	c4.	c5.*	c6.
Costillo							120.00								
Grasa g								12.00				40.00	20.00	12.00	20.00
Pierna															
Tocino															
Filete															
Chuleta															
Lomo															
J. Crudo															
Pellejo									5.25	25.00	25.00			9.00	
Grasa l.									50.00						
Cerdo I															
Cerdo II	76.80	76.80					30.00		16.40						
Sangre												60.00	15.00		15.00
Cabeza c															
Filete															
Lomo															
J. de res															
Res I	24.00	24.00	17.00	20.40	43.00	25.00			14.60	16.00	16.00			17.00	25.00
Res II				45.20		30.00		30.00	17.50	14.00	14.00		25.00	26.00	35.00
Res III													15.00		15.00
S.P.C.								43.00							
Recortes												10.00			

* Productos a granel y en paquete.
 Detalle para 120 lbs. de producto.
 Fuente: Agroindustrias del Centro S.A. de C.V.

Cuadro. 7 Coeficientes técnicos de uso
mano de obra.

ACTIVIDAD	M01	M02	M03
da1.	3.99	2.50	-
da2.	1.05	0.80	-
da3.	0.90	1.12	-
da4.	0.51		-
da5.	2.01	0.51	-
da6.	1.56	0.62	-
da7.	2.52		-
da8.	3.58		-
da9.	2.76		-
da10.	2.98		-
da11.	2.49		-
da12.	2.43		-
db1.	2.55		-
db2.	2.76		-
db3.	3.66		-
db4.	2.58		-
db5.	1.56		-
db6.	3.84		-
db7.	0.58		-
db8.	6.81		-
db9.	3.54		-
dc1.	2.82		-
dc2.	3.09		-
dc3.	2.76		-
dc4.	2.76		-
dc5.	2.52		-
dc6.	2.76		-

M01. Proceso

M02 Inyección

M03 Empaque

Fuente: El autor.

Cuadro. 7 (Continuación)

ACTIVIDAD	MO1	MO2	MO3
pa1.	3.99	2.50	4.26
pa2.	1.05	0.80	4.84
pa4.	0.51		4.26
pa5.	2.01	0.51	4.30
pa7.	2.52		2.72
pa9.	2.76		4.30
pa12.	2.43		4.74
pb1.	2.55		4.84
pb3.	3.66		3.32
pb4.	2.58		2.72
pb5.	1.56		4.74
pb6.	3.84		3.32
pb9.	3.54		2.72
pc1.	2.82		4.74
pc3.	2.76		2.72
pc5.	2.52		4.20

MO1. Proceso

MO2 Inyección

MO3 Empaque

Fuente: El autor.

Cuadro. 8 Coeficientes técnicos de uso de equipo en horas.

ACTIVIDAD	MHE1	MHE2	MHE3	MHE4	MHE5	MHE6	MHE7
da1.						3.59	2.50
da2.					3.47	1.49	0.80
da3.							1.12
da4.							
da5.					4.18		0.00
da6.					0.00		0.00
da7.	0.07	0.14		0.00			0.00
da8.	0.07	0.10		0.94	0.00		
da9.	0.08	0.10		0.32	0.00		
da10.	0.07	0.18		0.00	0.00	0.00	
da11.	0.07	0.71			2.84		
da12.	0.08	0.09	0.12	0.00	0.00	0.00	
db1.	0.07	0.15		0.00	0.00	0.00	
db2.	0.07	0.16		0.00	0.00	0.00	
db3.	0.07	0.33		0.00	0.00	0.00	
db4.	0.07	0.10		0.00	0.00		
db5.	0.07	0.19		0.00	0.00	0.00	
db6.	0.07	0.35		0.00	0.00	0.00	
db7.					3.34		
db8.	0.06	0.00		0.00			
db9.	0.07	0.10		0.94			
dc1.	0.07	0.17		0.00	0.00	0.00	
dc2.	0.07	0.17		0.00	0.00	0.00	
dc3.	0.07	0.08		0.74		0.00	
dc4.	0.07	0.10		0.75			
dc5.	0.07	0.20		0.00	0.00	0.00	
dc6.	0.06	0.09		0.00	0.00		

MHE1. Molino

MHE2. Cutter

MHE3. Mezclador

MHE4. Esbetidora

MHE5. Ahumador

MHE6. Escaldadora

MHE7. Inyector

Detalle para 120 lbs. de producto.

Cuadro. 8 (Continuación)

ACTIVIDAD	MHE1	MHE2	MHE3	MHE4	MHE5	MHE6	MHE7	MHE8	MHE9
pa1.						0.00	0.00	0.00	0.00
pa2.					0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
pa4.						0.00	0.00	0.00	0.50
pa5.					4.10	0.00	0.00	0.00	0.50
pa7.	0.07	0.14		0.00		0.00	0.00		0.00
pa9.	0.08	0.10		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
pa12.	0.08	0.09	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
pb1.	0.07	0.16		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
pb3.	0.07	0.33		0.00	0.00	0.00	0.00		0.50
pb4.	0.07	0.10		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
pb5.	0.07	0.19		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
pb6.	0.07	0.35		0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
pb8.	0.07	0.10		0.00		0.00	0.00		0.50
pc1.	0.07	0.17		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
pc3.	0.07	0.08		0.74	0.00	0.00	0.00		0.00
pc5.	0.07	0.20		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

MHE1. Molino

MHE4. Embudidora

MHE7. Inyector

MHE2. Cutter

MHE5. Abusador

MHE8. Rebanadora

MHE3. Mezclador

MHE6. Escaladora

MHE9. Sellador

Detalle para 120 lbs. de producto.

Fuente: El autor.

5. descripción algebraica del modelo.

Algebraicamente el modelo de programación lineal se plantea de la siguiente manera:

$$\text{Max: } Z = Bda(1-12), b(1-9), c(1-8) +$$

$$Bpa(1, 2, 4, 5, 7, 9, 12), b(1, 3-8, 9), c(1, 3, 5)$$

Sujeto a:

- Restricción de mano de obra para transformación.

$$Kda(1-12), b(1-9), c(1-8) +$$

$$Kpa(1, 2, 4, 5, 7, 9, 12), b(1, 3-8, 9), c(1, 3, 5) \leq \text{MO1}$$

- Restricción de mano de obra para inyección.

$$Kda(1, 2, 3, 5, 8) + Kpa(1, 2, 4, 5) \leq \text{MO2}$$

- Restricción de mano de obra para empaque.

$$Kpa(1, 2, 4, 5, 7, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 24, 26) \leq \text{MO3}$$

- Restricción de uso de equipo para transformación.

$$Kda(1-12), b(1-9), c(1-8) +$$

$$Kpa(1, 2, 4, 5, 7, 9, 12), b(1, 3-8, 9), c(1, 3, 5) \leq \text{RMHE}_{1-9}$$

- Restricción de materia prima principal.

$$Kpa(1, 2, 4, 5, 7, 9, 12), b(1, 3-8, 9), c(1, 3, 5) \leq \text{RMPP}$$

- Restricción de demanda a granel de Germanos.

$$RDDa, b, c \geq \text{RGDa, b, c}$$

- Restricción de demanda a granel de distribuidores.

$$RDDa, b, c \leq RDDa, b, c + \text{RGDa, b, c}$$

- Restricción de demanda de producto empacado.

$$Pda(1, 2, 4, 5, 7, 9, 12), b(1, 3-8, 9), c(1, 3, 5) \leq$$

$$\text{RPda}(1, 2, 4, 5, 7, 9, 12), b(1, 3-8, 9), c(1, 3, 5)$$

Donde:

B = Beneficio.

K = Coeficiente tecnico.

R = Restricción.

MO = Mano de obra.

MHE = Equipo

MMP = Materia prima principal.

G = Productos a granel para Germanos.

D = Productos a granel para distribuidores.

P = Productos empacados.

da, b, c = Productos clase A, B, C.

IV. RESULTADOS

A. Solución Base

1. Análisis de Actividades.

Este análisis indica para cada actividad que pertenece a la solución base: las cantidades a producir, su costo y el valor de la función objetivo que representa el ingreso maximizado de la solución del modelo, esta información se puede apreciar en el cuadro 10, el mismo además presenta la contribución de cada actividad en la solución y la utilidad total sobre costos variables del modelo.

2. Análisis de Holguras.

El análisis de holgura presenta la cantidad usada y sobrante de cada recurso que participa en la solución base; cuando un recurso ha sido ocupado en su totalidad el valor de holgura del mismo será igual a cero. En el cuadro número 11 se indica en detalle para cada recurso, su: disponibilidad, uso y valor de holgura en términos totales.

La importancia de los resultados de este análisis radica en que se puede identificar y cuantificar hasta qué nivel está siendo aprovechado cada recurso de modo que se pueda prever qué cantidad de los mismos es requerida para mantener un nivel adecuado de producción.

Cuadro. 10 Solución base.
Utilidad total sobre costos variables.

Actividad	Nombre del Producto	Cantidad lbs.	Precio por libra.	Costo por libra.	Beneficio Lps.
DA1	Jamón York	126.96	11.95	8.43	446.72
DA2	Jamón de res	15.00	10.80	8.07	40.84
DA3	Jamón de lechito	3.95	13.80	8.35	21.58
DA4	J. Crudo de cerdo	3.95	11.30	8.23	12.15
DA5	Tocino	111.96	8.20	8.05	16.41
DA6	Chuleta ahumada	221.04	8.20	8.43	(50.89)
DA7	Salami Catalán	21.95	9.25	5.77	76.46
DA8	Copetín fino	88.68	8.75	5.98	245.89
DA9	Arrollado chileno	21.00	7.45	4.11	70.19
DA10	Salchichón alemán	27.86	9.95	5.54	124.51
DA11	pastete	12.96	6.10	2.66	44.52
DA12	Jamonada	618.00	8.05	4.56	2,155.74
DB1	Salame Kayser	160.32	6.70	4.88	292.50
DB2	Salame Kayser rollo	122.94	9.35	4.94	538.54
DB3	Frankfurter	234.00	6.50	4.71	419.60
DB4	Longaniza	51.96	7.15	4.45	140.89
DB5	Mortadela alemana	0.00	6.40	4.43	0.00
DB6	Salchicha campesina	158.84	5.95	4.37	249.82
DB7	Costillar ahumado	28.20	7.15	6.04	31.35
DB8	Chorizo catracho	81.00	5.70	3.51	177.07
DB9	Copetín popular	11.04	8.50	5.73	30.54
DC1	Salchichón Leonés	56.76	5.80	4.12	95.61
DC2	Salchichón Leonés rollo	124.92	7.50	4.18	415.01
DC3	Morcila especial	27.95	3.30	1.11	61.17
DC4	Chorizo ericillo	149.52	4.20	2.63	235.48
DC5	Mortadela popular	0.00	3.95	1.85	0.00
DC6	Chorizo popular	51.12	4.50	2.80	86.73

Resultados arrojados por el programa GAMS.

Cuadro. 10 (Continuación)

Actividad	Nombre del Producto	Cantidad lbs.	Precio por libra.	Costo por libra.	Beneficio lps.
PA1	Jamón York	68.04	14.58	8.78	385.83
PA2	Jamón de res	43.08	12.71	8.37	186.98
PA4	J. Crudo de cerdo	9.96	13.23	8.57	47.84
PA5	Tocino	4.00	10.12	8.39	0.00
PA7	Salami Catalán	20.76	11.88	5.08	120.40
PA9	Arrollado chileno	13.20	8.94	4.46	59.10
PA12	Jamónada	195.96	9.76	4.85	962.71
PB1	Salami Kayser	98.16	8.47	5.16	324.92
PB3	Frankfurter	81.00	8.24	4.97	264.48
PB4	Longaniza	13.20	8.71	4.77	51.89
PB5	Mortadela alemana	209.84	8.80	4.71	688.04
PB6	Salchicha campesina	47.04	7.41	4.63	128.09
PB9	Copetín popular	54.00	10.47	5.99	241.96
PC1	Salchichón Leonés	143.84	7.29	4.40	414.21
PC3	Morcillo especial	6.96	4.59	1.43	22.01
PC5	Mortadela popular	0.00	5.18	2.18	0.00
Utilidad total sobre costos variables					\$,885.19

Resultados arrojados por el programa GAMS.

Cuadro. 11 Análisis de holgura

EQUIPO	TIEMPO DISPONIBLE	CANTIDAD USADA	CANTIDAD SOBRANTE
Holmo	44.00	1.74	42.26
Cutter	44.00	4.55	39.45
Mesclador	44.00	0.81	43.19
Embaldora	44.00	10.46	33.54
Aburador	44.00	44.00	0.00
Escaldadora	44.00	32.19	11.81
inyector	44.00	6.11	37.90
Rebanadora	44.00	4.20	39.80
Empacador	44.00	5.23	38.77
TIEMPO DE OBRERA			
Transformación	132.00	89.05	42.95
Inyección	44.00	6.11	37.90
Empaque	88.00	37.40	50.60
MATERIA PRIMA PRINCIPAL			
Cerdo 1	672.00	672.00	0.00
Cerdo 2	442.70	412.05	30.64
Pierna de cerdo	1,162.83	193.00	967.83
Tocino	302.03	112.00	190.03
Costilla de cerdo	97.00	28.25	68.75
Chuleta	320.25	221.00	99.25
Logo de cerdo	20.00	4.00	16.00
Jamón crudo	150.70	14.00	136.70
Grasa de loaja	332.25	326.98	55.27
Grasa 2	81.19	61.54	19.65
Cabeza de cerdo	343.90	73.08	318.82
Pelleja	263.49	5.70	257.79
Sangre	210.00	17.50	192.50
Res 1	8,243.80	454.26	8,788.75
Res 2	8,385.00	187.36	9,197.64
Res 3	713.00	61.39	651.61
Jamón de res	698.80	58.12	640.68
Subprod. Coc.	300.00	23.08	274.92
Cortes varios	300.80	2.32	297.00

Resultados arrojados por el programa GABS.

3. Análisis de penalización.

En el análisis de penalización se consideran las actividades que no aportan beneficio a la solución base, consiste en determinar la reducción del beneficio de la misma cuando se fuerza a entrar en la solución una unidad de estas actividades.

Como se pudo apreciar en el cuadro 10, no se deberían producir: mortadela alemana a granel (DB5) y tocino empacado (PA5), ya que si se intenta elaborar estos productos, se tendría una reducción de beneficio total sobre costos variables de 0.38 y 3.885 lempiras por libra respectivamente.

4. Análisis de precios sombra.

El análisis de precios sombra determina el cambio que ocurriría en el valor de la solución base del modelo si se aumentara o disminuyera una unidad a los límites de restricción impuestos.

En el análisis se consideran: los recursos que han sido usados en su totalidad, las restricciones en las que una o mas actividades tienen una participación mínima obligada en la solución del modelo y en las que se ha alcanzado el límite máximo impuesto.

El valor del precio sombra está relacionado con la dirección de la restricción así, en las restricciones de: recursos, demanda de producto a granel y empacado para distribuidores varios; se impone un límite máximo (\leq) para representar la cantidad disponible de recurso y la venta

Cuadro. 12 (Continuación)

RESTRICCIÓN	NIVEL DE	(1)	PRECIO	(2)
	PARTICIPACIÓN		SOMBRA Lps.	
EPDC1	56.76	<=	15.81	Incremento
EPDC2	124.92	<=	212.33	Incremento
EPDC3	27.96	<=	262.53	Incremento
EPDC4	149.52	<=	188.99	Incremento
EPDC5	51.12	<=	128.06	Incremento
EPDA1	68.04	<=	697.59	Incremento
EPDA2	43.08	<=	44.14	Incremento
EPDA4	9.96	<=	566.80	Incremento
EPDA7	20.76	<=	594.48	Incremento
EPDA9	33.96	<=	385.12	Incremento
EPDA12	195.96	<=	208.26	Incremento
EPDB1	88.16	<=	178.27	Incremento
EPDB3	81.00	<=	176.34	Incremento
EPDB4	13.20	<=	381.06	Incremento
EPDB5	209.04	<=	112.36	Incremento
EPDB6	47.04	<=	163.71	Incremento
EPDB9	54.00	<=	453.12	Incremento
EPDC1	143.04	<=	161.16	Incremento
EPDC3	6.96	<=	378.48	Incremento
EPDC5	0.00	<=	87.04	Incremento

(1) Dirección de la restricción

(2) Cambio en la solución base por unidad

Resultados arrojados por el programa GAMS.

Cuadro. 12 Análisis de precios sombra

	NIVEL DE PARTICIPACION	(1)	PRECIO SOMBRA Lps.	(2)
EQUIPO				
Álmacén	44 horas	=	155.26	Incremento
MATERIA PRIMA PRINCIPAL				
Cerdo 1	612 libras	=	1.69	Incremento
DEMANDA	Fibras		(Unidad 120 lbs.)	
RGD12	15.00	>	(149.22)	Disminución
RGD15	112.00	>	(631.47)	Disminución
RGD16	221.94	>	(822.55)	Disminución
RGD11	12.96	>	(28.76)	Disminución
RGD17	28.20	>	(385.32)	Disminución
RGD5	0.00	>	(20.49)	Disminución
RDD11	126.96	=	422.23	Incremento
RDD13	39.60	=	654.46	Incremento
RDD14	39.60	=	368.22	Incremento
RDD17	21.96	=	316.33	Incremento
RDD18	88.68	=	148.43	Incremento
RDD19	21.00	=	248.89	Incremento
RDD10	27.96	=	280.10	Incremento
RDD12	618.00	=	37.32	Incremento
RDD2	20.40	=	310.60	Incremento
RDD4	51.96	=	276.95	Incremento
RDD6	150.94	=	26.65	Incremento
RDD8	81.80	=	262.33	Incremento
RDD9	11.84	=	247.36	Incremento

(1) Dirección de la restricción

(2) Cambio en la solución base por unidad
Resultados arrojados por el programa GAMS.

máxima posible de cada tipo de producto. En las restricciones de demanda de producto a granel para el local de la empresa (Germanos) se tiene un límite mínimo de producto a ser entregado (\geq).

En el cuadro 12 se presentan: las restricciones de recursos y de actividades mencionadas, su nivel de participación así como el respectivo valor de precio sombra el cual representa la cantidad en que cambiaría la solución del modelo.

La importancia de los resultados del análisis de precios sombra presentado en el cuadro, radica en que los valores para:

a. Las actividades donde se da una reducción de beneficio en la solución del modelo pueden ser considerados a la hora de hacer un ajuste de precios para que su participación contribuya a mejorar las utilidades de la empresa.

b. Las actividades que presentan un aumento en el beneficio de la solución del modelo son útiles para determinar qué productos pueden ser promocionados para mejorar su demanda.

c. Los recursos que han sido usados en su totalidad también representan un limitante para la producción y en consecuencia no permiten aumentar el valor de la solución, ayudan a considerar si el costo de adquirir una unidad de recurso se compensa con el beneficio que representa el hacerlo.

5. Análisis de sensibilidad del modelo

El análisis de sensibilidad permite determinar el rango en el que la solución base permanecería inalterada.

En el anexo 8 se presentan los rangos de los coeficientes de la función objetivo donde se pueden hacer cambios sin alterar la solución base, para que la actividad de producción de chuleta ahumada pueda entrar en la solución es necesario que su utilidad sobre costos variables sea de al menos 0.41 lempiras por libra, lo mismo ocurre con la producción de longaniza, chorizo a granel y morcilla.

En el anexo 9 se encuentran los rangos en que pueden ser aumentados o reducidos los valores de las restricciones de demanda y recursos de producción, el límite máximo para las restricciones será igual a la máxima cantidad disponible, mientras que el mínimo será igual a la cantidad usada en la solución; para el caso del ahumador no existe un rango de variación ya que este recurso ha llegado al límite impuesto.

B. Estudio Comparativo.

El Estudio comparativo permitirá determinar la aplicabilidad y flexibilidad del modelo al comparar la solución dada por este, con la producción real de una semana en la empresa.

Para poder determinar las restricciones de materia prima se partió con un inventario al principio de la semana; las restricciones de demanda se tomaron en base a los pedidos de los diferentes distribuidores menos las existencias en la

planta de producto elaborado; se consideró para las restricciones de equipo y mano de obra, una semana normal de actividades.

Al final de la semana se hizo otro inventario de materia prima y productos para determinar las cantidades sobrantes de los mismos.

En el cuadro 13 se presenta: la cantidad elaborada de cada producto por la empresa en la segunda semana de marzo de 1991, los precios, costos, la utilidad sobre costos variables por producto y total obtenidas de las ventas realizadas. En el cuadro 14 se presenta la misma información pero al ser aplicado el modelo con las nuevas restricciones. En el cuadro 15 se compara las cantidades: disponibles, usadas y sobrantes de recursos en la producción de la semana, con la solución propuesta por el modelo.

BIBLIOTECA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

Cuadro. 13 Producción y beneficio de la empresa sin el modelo

Actividad	Nombre del Producto	(1)	(2)	Precio por libra.	Costo p libra.	Beneficio Lps.
D11	Jamón York	35.00		11.25	8.43	123.15
D12	Jamón de res	88.00		18.80	8.87	240.15
D13	Jamón de lorito	0.00		13.80	8.35	0.00
D14	J. Crudo de cerdo	0.00		11.30	8.23	0.00
D15	Tocino	70.00		8.20	8.05	10.26
D16	Chuleta ahumada	275.00		8.20	8.43	(63.32)
D17	Salami Catalan	0.00	106.00	9.25	5.77	0.00
D18	Copetín fino	140.00		8.75	5.98	388.19
D19	Arrollado chileno	0.00		7.45	4.11	0.00
D110	Salchichón alemán	0.00		9.95	5.58	0.00
D111	pastele	50.00		6.10	2.66	171.76
D112	Jamonada	195.00	20.00	8.05	4.56	683.70
DB1	Salami Kayser	183.00	50.50	6.70	4.88	333.88
DB2	Salami Kayser rollo	200.00		9.35	4.94	882.57
DB3	Frankfurter	171.00		6.50	4.71	306.63
DB4	Loganisa	188.00		7.15	4.45	506.86
DB5	Mortadela alemana	180.50	71.50	6.40	4.43	376.11
DB6	Salchicha carpesina	276.00	22.50	5.95	4.37	436.29
DB7	Castillar ahumado	101.00		7.15	6.04	112.28
DB8	Chorizo estracho	0.00		5.78	3.51	0.00
DB9	Copetín popular	32.00		8.50	5.73	88.51
DC1	Salchichón Leonés	96.00	60.00	5.80	4.12	161.71
DC2	Salchichón Leonés rollo	170.00		7.50	4.18	564.77
DC3	Morcila especial	46.00		3.30	1.11	108.64
DC4	Chorizo criollo	0.00		4.20	2.63	0.00
DC5	Mortadela popular	266.00	94.00	3.95	1.86	556.92
DC6	Chorizo popular	0.00	66.50	4.50	2.80	0.00

(1) Cantidad de producto vendido.

(2) Cantidad de producto sobrante.

Fuente: El autor.

Cuadro. 13 (Continuación)

Actividad	Nombre del Producto	(1)	(2)	Precio por libra.	Costo p libra.	Beneficio lps.
PA1	Jamón York	8.00	95.00	14.53	8.78	8.00
PA2	Jamón de res	31.00		12.71	8.37	134.55
PA4	J. Crudo de cerdo	26.00		13.29	8.57	122.81
PA5	Tocino	40.00		10.12	8.39	66.98
PA7	Salamin Catalán	0.00	14.00	11.38	6.08	0.00
PA9	Arrollado chileno	0.00		8.94	4.46	0.00
PA12	Jamonada	144.00	60.00	9.76	4.85	707.44
PB1	Salame Kayser	52.00	14.50	8.47	5.16	172.12
PB3	Frankfurter	15.00	54.00	8.24	4.97	48.98
PB4	Longaniza	12.00		8.71	4.77	47.26
PB5	Mortadela alemana	193.00	265.00	8.00	4.71	635.24
PB6	Salchicha caspesina	33.00	41.00	7.41	4.69	89.86
PB9	Copetín popular	30.00	58.00	10.47	5.99	134.42
PC1	Salchichón Leonés	94.00		7.29	4.40	272.20
PC3	Morcillo especial	4.00		4.59	1.43	12.65
PC5	Mortadela popular	0.00		5.18	2.19	0.00
Utilidad total sobre costos variables						8,427.58

(1) Cantidad de producto vendido.

(2) Cantidad de producto sobrante.

Fuente: El autor.

Cuadro. 14 Producción y beneficio usando el modelo

Actividad	Nombre del Producto	Cantidad lbs. †	Precio por libra.	Costo por libra.	Beneficio lps.
DA1	Jamón York	24.96	11.95	8.43	87.82
DA2	Jamón de res	68.04	10.80	8.07	185.68
DA3	Jamón de lomo	0.00	13.80	8.35	0.00
DA4	J. Crudo de cerdo	0.00	11.30	8.23	0.00
DA5	Jocino	173.64	8.20	8.05	25.45
DA6	Chuleta ahumada	0.00	8.20	8.43	0.00
DA7	Salami Catalán	12.96	9.25	5.77	45.12
DA8	Copetín fino	138.96	8.75	5.98	385.30
DA9	Arrollado chileno	0.00	7.45	4.11	0.00
DA10	Salchichón alemán	117.00	9.95	5.50	521.00
DA11	pastete	0.00	6.10	2.66	0.00
DA12	Jamonada	195.96	8.05	4.56	683.56
DB1	Salame Kayser	300.00	6.70	4.88	547.35
DB2	Salame Kayser rollo	213.96	9.35	4.94	944.17
DB3	Frankfurter	290.04	6.50	4.71	520.09
DB4	Longaniza	152.04	7.15	4.45	409.91
DB5	Mortadela alemana	246.96	6.40	4.43	487.58
DB6	Salchicha campesina	260.04	5.95	4.37	411.06
DB7	Costillar ahumado	80.04	7.15	6.04	88.98
DB8	Chorizo catracho	120.48	5.70	3.51	263.38
DB9	Copetín popular	9.96	8.50	5.73	27.55
DC1	Salchichón Leonés	48.72	5.80	4.12	82.07
DC2	Salchichón Leonés rollo	41.28	7.50	4.18	137.14
DC3	Morcilla especial	189.96	3.30	1.11	415.58
DC4	Chorizo triollo	0.00	4.20	2.63	0.00
DC5	Mortadela popular	47.16	3.95	1.86	98.74
DC6	Chorizo popular	0.00	4.50	2.80	0.00

† Todo el producto elaborado es vendido.
Resultados arrojadados por el programa GAMS.

Cuadro. 14 (Continuación)

Actividad	Nombre del Producto	Cantidad lbs. †	Precio por libra.	Costo por libra.	Beneficio Lps.
PA1	Jamón York	0.00	14.59	8.78	0.00
PA2	Jamón de res	60.96	12.71	8.37	264.59
PA4	J. Crudo de cerdo	30.00	13.29	8.57	141.70
PA5	Tocino	120.00	10.12	8.39	206.94
PA7	Salami Catalan	0.00	11.88	6.08	0.00
PA9	Arrollado chileno	30.00	8.94	4.46	134.32
PA12	Jamonada	144.00	9.76	4.85	707.44
PB1	Salame Kayser	75.00	8.47	5.16	248.26
PB3	Frankfurter	15.00	8.24	4.97	48.98
PB4	Longaniza	15.96	8.71	4.77	62.86
PB5	Mortadela alemana	192.96	8.00	4.71	635.11
PB6	Salchicha campesina	33.00	7.41	4.69	89.86
PB9	Copetín popular	30.00	10.47	5.99	134.42
PC1	Salchichón Leonés	93.96	7.29	4.40	272.09
PC3	Morcila especial	0.00	4.59	1.43	0.00
PC5	Mortadela popular	0.00	5.18	2.19	0.00
Utilidad total sobre costos variables					9,314.11

† Todo el producto elaborado es vendido.
Resultados arrojados por el programa GAMS.

Cuadro. 15 Comparación de cantidad usada y sobrante de recursos con y sin el modelo.

RECURSO	DISPONIBILIDAD	SIN EL MODELO		CON EL MODELO	
		CANTIDAD USADA	CANTIDAD SOBRANTE	CANTIDAD USADA	CANTIDAD SOBRANTE
MATERIA PRIMA					
Cerdo 1	1,297.20	484.50	812.70	441.38	855.82
Cerdo 2	1,272.00	918.00	354.00	652.02	619.98
Pierna de cerdo	1,262.85	130.00	1,132.85	25.00	1,237.85
Tocino	402.03	110.00	292.03	293.59	108.44
Costilla de cerdo	170.62	101.00	69.62	80.00	90.62
Chuleta	420.25	275.00	145.25	0.00	420.25
Lomo de cerdo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jamón crudo	205.19	26.00	179.19	30.00	175.19
Grasa de lonja	560.00	353.00	207.00	288.91	271.09
Grasa 2	103.50	46.00	57.50	103.50	0.00
Cabeza de cerdo	432.90	0.00	432.90	0.00	432.90
Pelleja	263.49	27.00	236.49	8.53	254.96
Sangre	200.00	25.00	175.00	95.00	105.00
Res 1	1,234.00	520.00	714.00	562.71	671.29
Res 2	1,382.86	517.00	865.86	202.52	1,180.34
Res 3	1,246.05	89.00	1,157.05	10.22	1,235.83
Jamón de res	892.10	119.00	773.10	129.00	763.10
Subprod. Coc.	90.00	63.00	27.00	0.00	90.00
Cortes varios	300.00	0.00	300.00	15.83	284.17

Resultados arrojados por el programa GAMS.

Cuadro. 15 (Continuación)

RECURSO	DISPONIBILIDAD	SIN EL MODELO		CON EL MODELO	
		CANTIDAD USADA	CANTIDAD SOBANTE	CANTIDAD USADA	CANTIDAD SOBANTE
EQUIPO					
Molino	44.00	2.29	41.71	1.78	42.22
Cutter	44.00	5.97	38.03	5.31	38.70
Mesclador	44.00	0.28	43.72	0.34	43.66
Esbudadora	44.00	13.280	30.72	11.952	32.05
Ahuador	44.00	36.440	7.56	44.000	0.00
Escaldadora	44.00	23.320	20.68	27.768	16.23
Inyector	44.00	5.390	38.61	2.629	41.37
Rebanadora	44.00	5.190	38.81	4.059	39.94
Esparador	44.00	6.750	37.25	4.480	39.52
MANO DE OBRA					
Proceso	132.00	106.40	25.60	81.99	50.01
Inyeccion	44.00	5.39	38.61	2.63	41.37
Empaque	88.00	47.79	40.21	32.05	55.95

Resultados arrojadados por el programa SAS.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El modelo planteado para Agroindustrias del Centro es capaz de maximizar el beneficio sobre costos variables al determinar la combinación óptima de productos a elaborar, garantizando el uso adecuado de recursos ante las restricciones de producción presentes en la sección de embutidos y carnes procesadas en la empresa.

Los resultados obtenidos de la simulación del modelo con los promedios de: producción, demanda, disponibilidad de materia prima principal y condiciones de trabajo para los meses de enero y febrero de 1981, determinan que para una semana promedio de estos meses se podría obtener un beneficio sobre costos variables de 9881.078 lempiras; determina además que los factores que limitan con mayor fuerza la obtención de mejores beneficios son:

- Los límites de demanda impuestos ya que la mayoría de los productos se encuentran en el máximo posible de ventas

- La disponibilidad de materia prima principal (cerdo 1).

- El tiempo de uso del ahumador.

La validación del modelo al hacer un estudio comparativo confirmó lo dicho anteriormente, además que se pudo haber mejorado la utilidades sobre costos variables en un 9.52% si se hubiera aplicado el modelo con condiciones óptimas de información de demanda.

El modelo está en capacidad de identificar cuellos de botella en las actividades de producción, adquisición de materia prima y en la promoción y ventas de productos de la empresa.

La flexibilidad del modelo permite simular situaciones futuras para la empresa en lo concerniente a las restricciones de producción consideradas.

La forma en que se dispusieron las restricciones de demanda, permiten cubrir la totalidad de producto a granel para el local de la empresa en Tegucigalpa, si existe la materia prima suficiente para hacerlo, de lo contrario el modelo no podrá ser aplicado a menos que se cambien estas restricciones para habilitar al modelo.

Ya que la programación lineal es tan solo una herramienta para la toma de decisiones de la empresa, se recomienda:

1. Aplicar el modelo planteado como una guía para la planificación de las operaciones de producción de la empresa en la sección de embutidos y carnes procesadas,

2. Actualizar continuamente las restricciones de demanda y materia prima de acuerdo a su comportamiento a lo largo del tiempo.

3. Llevar registros de pedidos de producto.

4. Tomar medidas de rendimiento de cortes cárnicos para animales de diferentes pesos para poder estimar mejor la cantidad de materia prima que se puede obtener.

5. Cambiar los coeficientes de la función objetivo cada vez que se den cambios en costos variables y se hagan ajustes de precios de producto.

VI. RESUMEN

Dadas las condiciones de trabajo y producción de Agroindustrias del Centro, se vio la conveniencia de elaborar un modelo de programación lineal para determinar la mezcla óptima de productos a elaborar, de modo de que se pueda maximizar el beneficio sobre costos variables de la empresa por medio de la asignación óptima de los recursos de producción.

Para la elaboración del modelo de programación lineal fue necesario:

1. Identificar las actividades que se realizan en la sección de productos cárnicos de la empresa, siendo estas la producción de embutidos y carnes procesadas a granel y en paquetes
2. Determinar el beneficio sobre costos variables para cada actividad productiva.
3. Determinar las restricciones de disponibilidad de equipo, mano de obra, y materia prima principal.
4. Determinar las restricciones de demanda de producto.
5. Medir los coeficientes técnicos para cada actividad.

Una vez armado el modelo se lo puso a prueba al comparar la producción de la empresa (segunda semana de marzo de 1991), con la dada por el modelo bajo las mismas restricciones de

demanda y materia prima.

El beneficio sobre costos variables alcanzado por el modelo fue aproximadamente 10% mayor que el logrado por la empresa.

El modelo diseñado resultaría ser una herramienta útil para la administración de la empresa en la toma de decisiones sobre producción y uso adecuado de recursos.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. DORFMAN, R. 1967. Programación lineal, su aplicación a la teoría de la empresa. Traducido del inglés por Alfonso García. Madrid, España. Aguilar. 328 p.
2. MOZCOWITZ, H. ; WRIGHT, G. 1982. Investigación de operaciones. Traducido al español por Carlos A. Franco. México D.F., México. Prentice-hall. 790 p.
3. STANSBURY, R. 1968. Introducción a la programación lineal. Traducido del inglés por Pablo Gil Castro. Bilbao, España. Deusto. 104 p.
4. PENAFIEL, L. 1976. Programación lineal. México D.F., México. Trillas. 312 p.
5. THIERAUF, R. 1984. Introducción a la investigación de operaciones. Traducido del inglés por Rafael García. México D.F., Mexico. Limusa. 551 p.
6. VELASCO, C. 1990. Construcción de un modelo de programación lineal para la planta de industrias cárnicas de la Escuela Agrícola Panamericana. Tesis Ingeniero Agrónomo. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 62 p.

VIII. ANEXOS

Anexo. I Costo de materia prima principal por 120 lb. de producto

	A1*	A2*	A3	A4*	A5*	A6	A7*	A8	A9*	A10	A11	A12*
Costilla										25.28	24.14	
Grasa 9	761.20											
Pierna					764.40							
Tecino												
Filete						764.40						
Chuleta												
Lomo			814.80									
Lomo				804.00								
J. Crudo									12.00			
Pellaje									34.50	89.70	55.20	35.88
Grasa 10.									342.00	430.35	319.20	239.40
Cerdo I									244.00			101.20
Cerdo II									37.98			
Sangre												
Cabeza c												
Filete												
Lomo												
J. de res		732.00							56.38	297.00		46.20
Res I									29.63			
Res II												
Res III												
S.P.C.												59.40
Recortes												
Total	761.20	732.00	814.80	804.00	764.40	764.40	629.50	520.05	462.08	559.68	240.32	444.60

* Productos a granel y empaquetados
Fuentes Agreindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo 1 (Continuación)

	B1*	B2	B3*	B4*	B5*	B6*	B7	B8	B9*	C1*	C2	C3*	C4	C5*	C6
Castilla							482.00	11.64				38.80	19.10	11.64	19.10
Grasa g															
Pierna															
Tecino															
Filete															
Chuleta															
Lomo															
J. Drudo															
Pellaja															5.10
Grasa lo.			55.20	46.92	27.60	20.70			12.08	59.80	59.80				
Cerdo I			196.65						285.00						
Cerdo II	324.10	324.10						126.60	69.21						
Sangre												6.00			
Cabeza c													14.55		14.55
Filete															
Lomo															
U. de res															
Res I	132.00	132.00	93.50	112.20	236.50	137.50			80.30	253.00	253.00			98.75	98.75
Res II				178.94		118.50		118.50	69.13	55.30	55.30			78.75	78.75
Res III														45.00	45.00
S.P.C.								129.00							
Recortes												30.00			
	456.10	456.10	345.35	436.94	416.02	394.86	462.00	385.74	515.71	368.10	368.10	74.80	256.45	142.69	256.45

* Productos a granel y empacados
Fuente: Agroindustrias del Centro S.A.R de C.V.

Anexo. 2 Costo de materia prima secundaria para 120 lb. de producto.

Actividad	A1*	A2*	A3	A4*	A5*	A6	A7*	A8	A9*	A10	A11	A12*
Primacure	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00					1.41	
Primatec	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21	13.21	1.96	1.96	0.72	2.94	2.71	1.27
Pluicolor	39.61	39.61	39.61	39.61	39.61	39.61	2.46	10.47	3.49	15.70	5.03	6.60
Acido Acetico								1.69				
Jenjibre							0.36					0.28
Nuez Moscada										7.27	2.83	2.97
Cebolla en polvo												
Masiz molido												
Senilla de mostaza												
Comino molido									0.01			
Cardamomo molido												
Finiente negra												
Ajo en polvo												
Paprika	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	1.69	3.16		1.18	2.56	0.33
Asucar	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	17.04	2.14	1.29	1.29	3.52		1.10
Sal comon							30.31	6.85				
Chile picante							0.08	0.14			1.48	0.14
Chile dulce												
Cebolla fresca												
Orégano H.												
Achiote												
A.T.												
Hielo.												
	182.62	182.62	182.62	182.62	182.62	182.62	15.00	25.50	6.39	21.60	25.20	2.40
								1.03				
									19.77	33.61	37.65	43.50

* Productos a granel y empaquetados.
 Fuente: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 2 (Continuación)

	82	83*	84*	85*	86*	87	88	89*	C1*	C2	C3*	C4	C5*	C6
Prinacure	3.40	1.76	2.94	2.94	3.43	111.00			2.69	2.69			2.66	3.19
Primalone														
Prinifos	10.47	10.47		10.47	12.21	13.21			10.47	10.47			10.47	
Acido Acético	0.75	0.75												
Jenjibro	7.09	7.09	4.57	4.95				1.56	1.22	1.22				
Nuez Moscada														
Cebolla en polvo														
Masas Holido		5.49											7.37	
Semilla de Mostaza			1.00				1.85				1.21	1.85		2.22
Comino Holido														
Cardamomo Holido	2.78	2.78	2.39	1.69	0.86				0.75	0.75				
Pimienta negra	2.11	1.76	1.69	2.14	3.25		3.78		1.69	1.69			1.69	4.54
Ajo en polvo		2.11	1.76	2.14	2.49		3.75	2.35	2.14	2.14		3.75	2.52	4.51
Paprika			16.87					26.36						
Azúcar														
Sal común	0.18	0.18	0.14	0.14	0.17	1.76		0.66			1.98			
Chile picante			0.84			17.04								
Chile dulce							1.82						1.82	
Cebolla fresca							3.82						7.64	8.82
Orégano													2.10	
Achiotte														0.66
R.T.	25.20	25.20	25.50	27.00	30.00			20.40	30.00	30.00				
Miolo.	2.20	2.20	5.80	4.10	7.60			4.44	4.80	4.80				
	54.18	54.18	49.05	53.19	51.94	60.01	182.62	15.02	55.77	53.76	14.74	11.24	24.72	15.12

* Productos a granel y empacados.
Fuente: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 3 Costos de material de enbuido por 120 lb. de producto.

actividad	# Bolsas grandes	pequeñas	# TRIPAS CORIA	TRIPA FRESCA lbs.	TOTAL Lps.
DA7				1.70	34.00
DAB			18.00		105.17
DAY					0.00
DA10		36.00			37.97
DA11					0.00
DA12	15.00				22.14
DB1		42.00			44.29
DB2		48.00			50.62
DB3			18.00		105.17
DB4				1.50	30.00
DB5	17.00				25.09
DB6				2.00	40.00
DB7				2.00	40.00
DB8					0.00
DB9			18.00		105.17
DC1		42.00			44.29
DC7		48.00			50.62
DC3				1.50	30.00
DC4				2.00	40.00
DC5	18.00				26.57
DC6				2.50	50.00
PA7				1.70	34.00
PA12	15.00				1.41
PB1		42.00			44.29
PB3			18.00		105.17
PB4				1.50	30.00
PB5	17.00				25.09
PB6				2.00	40.00
PB9			18.00		105.17
PC1		42.00			44.29
PC2				1.50	30.00
PC5	18.00				26.57

Precios vigentes a enero de 1991.

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 4 Costos de material de empaque por 120 Lbs. de producto.

Fundas de vacío	Tamaño	Lps./U	Tamaño	Lps./U	TOTAL
Tipo Gamus	# 6XS	0.09	# 719	0.17	Lps.
PA1			280.00		32.79
PA2	280.00				26.32
PA4			280.00		32.79
PA5			280.00		32.79
PA7			280.00		32.79
PA9			280.00		32.79
PA12	280.00				26.32
PB1	280.00				26.32
PB3	280.00				26.32
PB4			280.00		32.79
PB5	280.00				26.32
PB6			280.00		32.79
PB9	280.00				26.32
PC1	280.00				26.32
PC3			280.00		32.79
PC5			280.00		32.79

Precios vigentes a enero de 1991.

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 5 Costos de mano de obra por 120 lbs. de producto.

Costo/h Actividad.	Proceso/h	6.83Lps./h.		1.85Lps./h.		TOTAL COSTO
		Total	Inyección	Total		
DA1	1.33	9.08	2.50	4.63	13.71	
DA2	0.35	2.39	0.80	1.48	3.87	
DA3	0.30	2.05	1.12	2.07	4.12	
DA4	0.17	1.16			1.16	
DA5	0.67	4.58	0.51	0.94	5.52	
DA6	0.52	3.55	0.62	1.15	4.70	
DA7	0.84	5.74			5.74	
DA8	1.19	8.14			8.14	
DA9	0.92	6.28			6.28	
DA10	0.99	6.78			6.78	
DA11	0.83	5.67			5.67	
DA12	0.81	5.53			5.53	
DB1	0.85	5.81			5.81	
DB2	0.92	6.28			6.28	
DB3	1.22	8.33			8.33	
DB4	0.86	5.87			5.87	
DB5	0.52	3.55			3.55	
DB6	1.28	8.74			8.74	
DB7	0.19	1.32			1.32	
DB8	2.27	15.50			15.50	
DB9	1.18	8.06			8.06	
DC1	0.94	6.42			6.42	
DC2	1.03	7.03			7.03	
DC3	0.92	6.28			6.28	
DC4	0.92	6.28			6.28	
DC5	0.84	5.74			5.74	
DC6	0.92	6.28			6.28	

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 5 (Continuación)

Costo/h Actividad.	Proceso/h	6.83lps./h.		1.85lps./h.		3.13lps./h.		TOTAL COSTO
		Total	Inyección	Total	Empaque	Total		
PA1	1.33	9.08	2.50	4.63	2.13	6.67	20.38	
PA2	0.35	2.39	0.80	1.48	2.47	7.73	11.60	
PA4	0.17	1.16			2.13	6.67	7.83	
PA5	0.67	4.58	0.51	0.94	2.15	6.73	12.25	
PA7	0.84	5.74			1.36	4.26	9.99	
PA9	0.92	6.28			2.15	6.73	13.01	
PA12	0.81	5.53			2.37	7.42	12.95	
PB1	0.85	5.81			2.47	7.73	13.54	
PB3	1.22	8.33			1.66	5.20	13.53	
PB4	0.86	5.87			1.36	4.26	10.13	
PB5	0.52	3.55			2.37	7.42	10.97	
PB6	1.28	8.74			1.66	5.20	13.94	
PB9	1.18	8.06			1.36	4.26	12.32	
PC1	0.94	6.42			2.37	7.42	13.84	
PC3	0.92	6.28			1.36	4.26	10.54	
PC5	0.84	5.74			2.10	6.57	12.31	

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo.b Costos de depreciación por uso de equipo por 120 lbs. de producto.

Actividad	Molino	Cutter	Mezclador	Esbutidora	Abumador	Escaldador	Inyector	TOTAL
DA1					0.000	5.557	0.195	161.065
DA2					10.076	2.307	0.062	348.450
DA3					0.000	0.000	0.087	2.446
DA4					0.000	0.000	0.000	0.000
DA5					3.873	0.000	0.040	109.551
DA6					16.804	0.000	0.048	471.862
DA7	0.005	0.434		0.802	0.000	0.000		34.755
DA8	0.005	0.310		1.604	1.214	0.000		87.746
DA9	0.006	0.310		0.000	1.214	0.000		42.843
DA10	0.005	0.558		0.717	3.873	0.851		168.114
DA11	0.005	2.201		0.000	9.222	0.000		319.997
DA12	0.006	0.279	0.068	0.222	5.678	1.703		222.758
DB1	0.005	0.496		0.717	4.628	0.929		189.681
DB2	0.005	0.496		1.058	4.628	0.929		199.239
DB3	0.005	1.023		0.905	3.315	6.889		339.810
DB4	0.005	0.310		1.229	0.985	0.000		70.799
DB5	0.005	0.589		0.358	5.973	1.827		245.066
DB6	0.005	1.085		0.870	3.446	0.870		174.358
DB7	0.000	0.000		0.000	10.863	0.000		304.176
DB8	0.004	2.790		1.229	0.000	0.000		112.650
DB9	0.005	0.310		1.604	0.000	0.000		53.744
DC1	0.005	0.527		0.734	3.938	0.774		167.394
DC2	0.005	0.527		1.041	3.938	0.774		175.997
DC3	0.005	0.248		1.212	0.000	0.789		63.122
DC4	0.004	0.310		0.119	0.000	0.000		12.146
DC5	0.005	0.620		0.375	5.744	0.124		192.301
DC6	0.004	0.279		1.229	1.575	0.000		86.452

Fuentes: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo B (Continuación)

Actividad	Holino	Cutter	Mezclador	Embutidora	Humedor	Escaldador	Inyector	Rebenedora	Selladora	TOTAL
Paquetes										
PA1					0.000	5.557	0.195	0.176	0.989	6.917
PA2				10.076	10.076	2.307	0.087	0.161	0.655	13.286
PA4				0.000	0.000	0.000	0.000	0.176	0.655	0.831
PA5				3.873	3.873	0.000	0.040	0.176	0.655	4.744
PA7				0.000	0.000	0.000		0.000	0.989	1.898
PA9				1.214	1.214	0.000		0.161	0.655	2.266
PA12			0.068	5.678	5.678	1.703		0.161	0.655	8.680
PB1				4.628	4.628	0.929		0.161	0.655	7.294
PB3				3.315	3.315	6.883		0.000	0.655	12.417
PB4				0.985	0.985	0.000		0.000	0.989	3.008
PB5				5.973	5.973	1.827		0.161	0.655	9.420
PB6				3.446	3.446	0.820		0.000	0.989	6.855
PB9				0.000	0.000	0.000		0.000	0.655	1.310
PC1				3.936	3.936	0.774		0.161	0.655	6.491
PC3				0.000	0.000	0.783		0.000	0.989	2.741
PC5				5.744	5.744	0.000		0.161	0.989	7.738

Fuentes: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 7 Costo de energía eléctrica en lps. por 120 lbs de producto

Actividad	Molino	Colter	Mezclador	Embudo	Ahumador	Escaldador	inyector	TOTAL
DA1					0.000	28.271	0.217	28.488
DA2					25.788	11.734	0.069	37.591
DA3					0.000		0.097	0.097
DA4					0.000		0.000	0.000
DA5					9.912		0.044	9.956
DA6					43.008		0.054	43.062
DA7	0.054	0.459		0.612	0.000			1.126
DA8	0.054	0.380		1.007	3.108			4.549
DA9	0.061	0.106		0.000	3.108			3.275
DA10	0.054	0.761		0.547	9.912	4.331		15.606
DA11	0.054	1.040		0.000	23.604	0.000		24.698
DA12	0.061	0.260	0.001	0.169	14.532	8.663		23.686
DB1	0.054	0.733		0.547	11.844	4.725		17.903
DB2	0.054	0.733		0.808	11.844	4.725		18.164
DB3	0.054	0.508		0.691	8.484	35.044		44.781
DB4	0.054	0.429		0.938	2.520	0.000		3.941
DB5	0.054	0.815		0.274	15.288	9.293		25.723
DB6	0.054	0.761		0.665	8.820	4.174		14.474
DB7				0.000	27.804			27.804
DB8	0.061	0.380		0.938	0.000			1.379
DB9	0.054	0.386		1.007	0.000			1.447
DC1	0.054	0.674		0.560	10.080	3.938		15.306
DC2	0.054	0.674		0.795	10.080	3.938		15.540
DC3	0.054	0.392		0.925	0.000	4.016		5.388
DC4	0.061	0.447		0.091	0.000	0.000		0.599
DC5	0.061	0.507		0.287	14.700	0.630		16.180
DC6	0.054	0.447		0.938	4.032	0.000		5.472

Fuente: Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 7 (continuación)

Actividad	Molino	Cutter	Mezclador	Embotidor	Ahumador	Escaldador	inyector	Rebanadora	Selladora	TOTAL
Paquetes										
PA1					0.000	28.271	0.217	0.061	0.551	29.100
PA2					25.788	11.734	0.097	0.056	0.365	38.040
PA4					0.000		0.000	0.061	0.365	0.426
PA5					9.912		0.044	0.061	0.365	10.382
PA7				0.612	0.000			0.000	0.551	1.164
PA9	0.061	0.106		1.199	3.108			0.056	0.365	4.895
PA12	0.054	0.260	0.000	0.169	14.532	8.663		0.056	0.365	24.100
PB1	0.054	0.000		0.547	11.844	4.725		0.056	0.365	17.591
PB3	0.054	0.508		0.691	8.484	35.044		0.000	0.365	45.146
PB4	0.054	0.429		0.938	2.520	0.000		0.000	0.551	4.493
PB5	0.054	0.817		0.274	15.288	9.293		0.056	0.365	26.144
PB6	0.054	0.761		0.655	0.820	4.174		0.000	0.551	15.025
PB9	0.054	0.386		1.225	0.000	0.000		0.000	0.365	2.030
PC1	0.054	0.674		0.550	10.080	3.938		0.056	0.365	15.727
PC3	0.054	0.447		0.925	0.000	4.016		0.000	0.551	5.994
PCS	0.061	0.502		0.287	14.700	0.000		0.056	0.551	16.157

Fuentes Agroindustrias del Centro S.A de C.V.

Anexo. 8

Variables de la función objetivo.

---- VAR X CANTIDAD DE PRODDUCTO A ELABORAR POR SEMANA

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
XDA1	.	1.058	+INF	.
XDA2	.	0.125	+INF	.
XDA3	.	0.033	+INF	.
XDA4	.	0.033	+INF	.
XDA5	.	0.933	+INF	.
XDA6	.	1.842	+INF	.
XDA7	.	0.183	+INF	.
XDA8	.	0.739	+INF	.
XDA9	.	0.175	+INF	.
XDA10	.	0.233	+INF	.
XDA11	.	0.108	+INF	.
XDA12	.	5.150	+INF	.
XDB1	.	1.336	+INF	.
XDB2	.	1.017	+INF	.
XDB3	.	1.950	+INF	.
XDB4	.	0.433	+INF	.
XDB5	.	.	+INF	-45.683
XDB6	.	1.317	+INF	.
XDB7	.	0.235	+INF	.
XDB8	.	0.675	+INF	.
XDB9	.	0.092	+INF	.
XDC1	.	0.473	+INF	.
XDC2	.	1.041	+INF	.
XDC3	.	0.233	+INF	.
XDC4	.	1.246	+INF	.
XDC5	.	.	+INF	.
XDC6	.	0.426	+INF	.
XPA1	.	0.567	+INF	.
XPA2	.	0.359	+INF	.
XPA4	.	0.083	+INF	.
XPA5	.	.	+INF	-442.116
XPA7	.	0.173	+INF	.
XPA9	.	0.110	+INF	.
XPA12	.	1.633	+INF	.
XPB1	.	0.818	+INF	.
XPB3	.	0.675	+INF	.
XPB4	.	0.110	+INF	.
XPB5	.	1.742	+INF	.
XPB6	.	0.392	+INF	.
XPB9	.	0.450	+INF	.
XPC1	.	1.192	+INF	.
XPC3	.	0.058	+INF	.
XPC5	.	.	+INF	.

Anexo. 9 Resultados del modelo general

Valores arrojados por el programa GAMS de programación lineal

* OBJECTIVE VALUE 9881.0778

NIVELES DE RESTRICCIÓN:

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU BENEFICIO	.	.	.	1.000
---- EQU D1	0.829	1.058	+INF	.
---- EQU D2	0.125	0.125	+INF	-149.219
---- EQU D3	0.033	0.033	+INF	.
---- EQU D4	0.033	0.033	+INF	.
---- EQU D5	0.933	0.933	+INF	-631.466
---- EQU D6	1.842	1.842	+INF	-822.646
---- EQU D7	0.092	0.183	+INF	.
---- EQU D8	0.192	0.739	+INF	.
---- EQU D9	0.175	0.175	+INF	.
---- EQU D10	0.150	0.233	+INF	.
---- EQU D11	0.108	0.108	+INF	-28.756
---- EQU D12	2.258	5.150	+INF	.
---- EQU D13	0.908	1.336	+INF	.
---- EQU D14	0.100	1.017	+INF	.
---- EQU D15	1.208	1.950	+INF	.
---- EQU D16	0.100	0.433	+INF	.
---- EQU D17	.	.	+INF	.
---- EQU D18	0.833	1.317	+INF	.
---- EQU D19	0.235	0.235	+INF	-385.224

Continuación.

-----	EQU D20	0.583	0.675	+INF	.
-----	EQU D21	.	0.092	+INF	.
-----	EQU D22	0.300	0.473	+INF	.
-----	EQU D23	0.033	1.041	+INF	.
-----	EQU D24	0.333	0.233	+INF	.
-----	EQU D25	0.100	1.246	+INF	.
-----	EQU D26	.	.	+INF	-20.494
-----	EQU D27	.	0.426	+INF	.
-----	EQU D28	-INF	1.058	1.058	422.230
-----	EQU D29	-INF	0.125	0.217	.
-----	EQU D30	-INF	0.033	0.033	654.460
-----	EQU D31	-INF	0.033	0.033	568.220
-----	EQU D32	-INF	0.933	1.272	.
-----	EQU D33	-INF	1.842	2.150	.
-----	EQU D34	-INF	0.183	0.183	316.331
-----	EQU D35	-INF	0.739	0.739	148.428
-----	EQU D36	-INF	0.175	0.175	248.894
-----	EQU D37	-INF	0.233	0.233	280.098
-----	EQU D38	-INF	0.108	0.319	.
-----	EQU D39	-INF	5.150	5.150	37.319
-----	EQU D40	-INF	1.336	2.108	.
-----	EQU D41	-INF	1.017	1.017	310.600
-----	EQU D42	-INF	1.950	2.052	.
-----	EQU D43	-INF	0.433	0.433	276.947
-----	EQU D44	-INF	.	3.483	.

Continuación.

---- EQU D45	-INF	1.317	1.317	26.650
---- EQU D46	-INF	0.235	0.435	.
---- EQU D47	-INF	0.675	0.675	262.330
---- EQU D48	-INF	0.092	0.092	247.364
---- EQU D49	-INF	0.473	0.473	15.808
---- EQU D50	-INF	1.041	1.041	212.328
---- EQU D51	-INF	0.233	0.233	262.530
---- EQU D52	-INF	1.246	1.246	188.990
---- EQU D53	-INF	.	2.521	.
---- EQU D54	-INF	0.426	0.426	129.037
---- EQU D55	-INF	0.567	0.567	697.590
---- EQU D56	-INF	0.359	0.359	44.141
---- EQU D57	-INF	0.083	0.083	566.800
---- EQU D58	-INF	.	0.333	.
---- EQU D59	-INF	0.173	0.173	594.481
---- EQU D60	-INF	0.110	0.110	385.124
---- EQU D61	-INF	1.633	1.633	208.259
---- EQU D62	-INF	0.818	0.818	178.270
---- EQU D63	-INF	0.675	0.675	176.340
---- EQU D64	-INF	0.110	0.110	381.057
---- EQU D65	-INF	1.742	1.742	112.367
---- EQU D66	-INF	0.392	0.392	163.710
---- EQU D67	-INF	0.450	0.450	453.124
---- EQU D68	-INF	1.192	1.192	161.158
---- EQU D69	-INF	0.058	0.058	379.480

Anexo 10. Resultados del modelo para el estudio comparativo.

Valores arrojados por el programa GAMS para programación lineal

EXIT -- OPTIMAL SOLUTION FOUND.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU DENEFCIO	.	.	.	1.000
---- EQU D1	.	0.208	+INF	.
---- EQU D2	0.483	0.567	+INF	.
---- EQU D3	.	.	+INF	.
---- EQU D4	.	.	+INF	.
---- EQU D5	0.625	1.447	+INF	.
---- EQU D6	.	.	+INF	.
---- EQU D7	.	0.108	+INF	.
---- EQU D8	0.200	1.158	+INF	.
---- EQU D9	.	.	+INF	.
---- EQU D10	.	0.975	+INF	.
---- EQU D11	.	.	+INF	-111.860
---- EQU D12	.	1.633	+INF	.
---- EQU D13	0.983	2.500	+INF	.
---- EQU D14	.	1.783	+INF	.
---- EQU D15	1.333	2.417	+INF	.
---- EQU D16	0.183	1.267	+INF	.
---- EQU D17	.	2.058	+INF	.
---- EQU D18	1.083	2.167	+INF	.
---- EQU D19	0.367	0.667	+INF	.
---- EQU D20	0.646	1.004	+INF	.

Continuación.

-----	EQU D21	.	0.083	+INF	.
-----	EQU D22	0.406	0.406	+INF	.
-----	EQU D23	0.044	0.344	+INF	.
-----	EQU D24	1.583	1.583	+INF	-550.389
-----	EQU D25	.	.	+INF	.
-----	EQU D26	.	0.393	+INF	.
-----	EQU D27	.	.	+INF	.
-----	EQU D28	-INF	0.208	0.208	422.230
-----	EQU D29	-INF	0.567	0.567	314.561
-----	EQU D30	-INF	.	.	.
-----	EQU D31	-INF	.	.	368.220
-----	EQU D32	-INF	1.447	1.667	.
-----	EQU D33	-INF	.	.	.
-----	EQU D34	-INF	0.108	0.108	417.810
-----	EQU D35	-INF	1.158	1.158	331.173
-----	EQU D36	-INF	.	.	399.503
-----	EQU D37	-INF	0.975	0.975	41.643
-----	EQU D38	-INF	.	.	.
-----	EQU D39	-INF	1.633	1.633	411.310
-----	EQU D40	-INF	2.500	2.500	213.007
-----	EQU D41	-INF	1.783	1.783	523.607
-----	EQU D42	-INF	2.417	2.417	210.930
-----	EQU D43	-INF	1.267	1.267	322.268
-----	EQU D44	-INF	2.058	2.058	229.261
-----	EQU D45	-INF	2.167	2.167	185.271

----	EQU D46	-INF	0.667	0.667	119.345
----	EQU D47	-INF	1.004	1.004	18.454
----	EQU D48	-INF	0.083	0.083	331.930
----	EQU D49	-INF	0.406	0.406	197.090
----	EQU D50	-INF	0.344	0.344	393.610
----	EQU D51	-INF	1.583	1.583	.
----	EQU D52	-INF	.	.	.
----	EQU D53	-INF	0.393	2.167	.
----	EQU D54	-INF	.	.	.
----	EQU D55	-INF	.	.	697.590
----	EQU D56	-INF	0.508	0.508	507.921
----	EQU D57	-INF	0.250	0.250	566.080
----	EQU D58	-INF	1.000	1.000	189.350
----	EQU D59	-INF	.	.	695.960
----	EQU D60	-INF	0.250	0.250	535.733
----	EQU D61	-INF	1.200	1.200	582.250
----	EQU D62	-INF	0.625	0.625	391.277
----	EQU D63	-INF	0.125	0.125	387.570
----	EQU D64	-INF	0.133	0.133	471.378
----	EQU D65	-INF	1.608	1.608	387.311
----	EQU D66	-INF	0.275	0.275	322.331
----	EQU D67	-INF	0.250	0.250	537.690
----	EQU D68	-INF	0.783	0.783	342.440
----	EQU D69	-INF	.	0.100	.
----	EQU D70	-INF	.	.	107.530

Continuación.

----- EQU RMPP. DETERMINA RESTRICCIÓN DE MATERIA PRIMA PRINCIPAL

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
C1	-INF	441.379	1297.200	.
C2	-INF	652.018	1272.000	.
CP	-INF	25.000	1262.850	.
CT	-INF	293.586	402.030	.
CC	-INF	80.000	170.620	.
CH	-INF	.	420.250	.
CL	-INF	.	.	5.454.
JC	-INF	30.000	205.187	.
GL	-INF	288.912	560.000	.
G2	-INF	103.500	103.500	20.323
CA	-INF	.	432.900	.
PC	-INF	8.537	263.494	.
CS	-INF	95.000	200.000	.
R1	-INF	562.708	1234.040	.
R2	-INF	202.518	1382.860	.
R3	-INF	10.219	1246.050	.
JR	-INF	129.000	892.100	.
SC	-INF	.	90.000	.
RP	-INF	15.833	300.000	.

----- EQU RMMO DETERMINA RESTRICCIÓN DE MANO DE OBRA

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
MO1	-INF	81.992	132.000	.
MO2	-INF	2.629	44.000	.
MO3	-INF	32.052	88.000	.

----- EQU REQ DETERMINA RESTRICCIÓN DE EQUIPO

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
MHE1	-INF	1.780	44.000	.
MHE2	-INF	5.305	44.000	.
MHE3	-INF	0.340	44.000	.
MHE4	-INF	11.952	44.000	.
MHE5	-INF	44.000	44.000	4.208
MHE6	-INF	27.768	44.000	.
MHE7	-INF	2.629	44.000	.
MHE8	-INF	4.059	44.000	.
MHE9	-INF	4.480	44.000	.

Continuación.

---- VAR X CANTIDAD DE PRODUCTO A ELABORAR POR SEMANA

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
XDA1	.	0.208	+INF	.
XDA2	.	0.567	+INF	.
XDA3	.	.	+INF	.
XDA4	.	.	+INF	.
XDA5	.	1.447	+INF	.
XDA6	.	.	+INF	-49.176
XDA7	.	0.108	+INF	.
XDA8	.	1.158	+INF	.
XDA9	.	.	+INF	.
XDA10	.	0.975	+INF	.
XDA11	.	.	+INF	.
XDA12	.	1.633	+INF	.
XDB1	.	2.500	+INF	.
XDB2	.	1.783	+INF	.
XDB3	.	2.417	+INF	.
XDB4	.	1.267	+INF	.
XDB5	.	2.058	+INF	.
XDB6	.	2.167	+INF	.
XDB7	.	0.667	+INF	.
XDB8	.	1.004	+INF	.
XDB9	.	0.083	+INF	.
XDC1	.	0.406	+INF	.
XDC2	.	0.344	+INF	.
XDC3	.	1.583	+INF	.
XDC4	.	.	+INF	-217.470
XDC5	.	0.393	+INF	.
XDC6	.	.	+INF	-204.890
XPA1	.	.	+INF	.
XPA2	.	0.508	+INF	.
XPA4	.	0.250	+INF	.
XPA5	.	1.000	+INF	.
XPA7	.	.	+INF	.
XPA9	.	0.250	+INF	.
XPA12	.	1.200	+INF	.
XPB1	.	0.625	+INF	.
XPB3	.	0.125	+INF	.
XPB4	.	0.133	+INF	.
XPB5	.	1.608	+INF	.
XPB6	.	0.275	+INF	.
XPB9	.	0.250	+INF	.
XPC1	.	0.783	+INF	.
XPC3	.	.	+INF	-433.439
XPC5	.	.	+INF	.
---- VAR Z	LOWER -INF	LEVEL 9315.249	UPPER +INF	MARGINAL .