

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de  
la Producción**

“Diseño y Optimización de un Menú Modelo”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERA DE ALIMENTOS**

Presentada por:

Karín Elizabeth Coello Ojeda

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO

2000

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Daniel Núñez, Director de Tesis, Ing. Luis Miranda Sánchez e Ing. Eddie Miranda Ledesma, por su invaluable ayuda.

# DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS ABUELOS

# TRIBUNAL DE GRADUACION

---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP

---

Ing. Daniel Núñez T.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Angela Naupay I.  
VOCAL

---

MBA. Mariela Reyes L.  
VOCAL

## **DECLARACION EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Karín Coello Ojeda

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
I. CONSIDERACIONES NUTRICIONALES.....	2
1.1. Definición de alimento.....	2
1.2. Tipos de alimentos.....	2
1.3. Requerimientos dietéticos normales.....	5
1.4. Hábitos alimenticios en la región.....	9
II. DISEÑO DEL MENU.....	11
2.1    Cálculo del gasto energético.....	22
2.2    Determinación de los requerimientos nutricionales.....	37

2.3	Elaboración de la	
	dieta.....	40
2.4	Combinación de los	
	alimentos.....	42
2.4.1	Cálculo del aporte	
	nutricional.....	43
2.5	Balance de materiales y cálculo de	
	rendimientos.....	44
2.6	Estimación del costo base del menú	
	elaborado.....	56

### III. DISEÑO DE UN MODELO MATEMATICO PARA LA

OPTIMIZACION DEL MENU.....	61
3.1. Definición de las variables de decisión.....	62
3.2. Determinación de la función objetivo.....	63
3.3. Definición de las restricciones.....	63
3.4. Formulación del modelo matemático.....	65

### IV. RESULTADOS.....72

4.1. Verificación del modelo utilizando herramientas informáticas...72
4.2. Análisis y discusión de los resultados.....77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 90

TABLAS Y ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

## **RESUMEN**

El presente trabajo desarrolla el diseño y optimización de un menú modelo que restaure el 40% del gasto energético nutricional diario, correspondiente a las actividades típicas de un centro de estudios superior.

Se diseña la muestra que servirá para calcular el requerimiento energético representativo del grupo objetivo integrado por estudiantes, profesores y empleados de la ESPOL y se formula una combinación de alimentos de valor nutricional adecuado y bajo costo.

Luego, se obtiene un modelo matemático para optimizar el menú diseñado y así, utilizar eficientemente las cantidades de los alimentos que lo conforman, manteniendo el nivel de nutrientes requeridos al menor costo posible.

El modelo se soluciona utilizando una macro automática dentro del software Microsoft Excel de Windows.

Finalmente se presentan el análisis y discusión de los resultados, así como las conclusiones y recomendaciones.

## ABREVIATURAS

cm	centímetros
FNB	Food and Nutrition Board
GEB	Gasto Energético Basal
GER	Gasto Energético Representativo
g	gramos
g/día	gramos por día
Kcal	Kilocalorías
Kcal/g	Kilocalorías por gramo
Kcal/día	Kilocalorías por día
Kg	Kilogramos
mg	miligramos
O.M.S.	Organización Mundial de la Salud
TMB	Tasa de Metabolismo Basal

## SIMBOLOGIA

A	Contenido nutritivo en 100 g de alimento
B	Beneficio económico o ahorro
C	Número total de comensales
E	Edad en años
GEB <sub>eh</sub>	Gasto Energético Basal de estudiantes varones
GEB <sub>em</sub>	Gasto Energético Basal de estudiantes mujeres
GEB <sub>ph</sub>	Gasto Energético Basal de profesores
GEB <sub>pm</sub>	Gasto Energético Basal de profesoras
GEB <sub>ah</sub>	Gasto Energético Basal de personal administrativo masculino
GEB <sub>am</sub>	Gasto Energético Basal de personal administrativo femenino
g	Grupo ocupacional
i	Edad mínima del grupo ocupacional
M	Costo menú modelo
n	Proporción de hombres o mujeres
O	Costo menú modelo optimizado
P	Peso en Kilogramos
P <sub>f</sub>	Peso final del alimento
P <sub>i</sub>	Peso inicial del alimento
μ	Múltiplo de la Tasa de Metabolismo Basal
R	Porcentaje de rendimiento
S <sub>i</sub>	Valor por Kilogramo de cada alimento
T	Porcentaje inicial de materia prima
θ	Tiempo en horas
X <sub>i</sub>	Cantidad de alimento en Kilogramos
W	Agua evaporada
Z	Edad máxima del grupo ocupacional

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Pirámide nutricional.....	7
Figura 2.1 Distribución poblacional dentro de los rangos de edades predominantes.....	15
Figura 2.2 Personas que almuerzan en el Campus.....	16
Figura 2.3 Distribución por sexo y rango de edades del grupo objetivo....	22
Figura 2.4 Precios de alimentos en el mercado entre el 25 de Julio y el 5 de Diciembre de 1999.....	58
Figura 4.1 Nivel de macronutrientes en el menú.....	79
Figura 4.2 Nivel de micronutrientes en el menú.....	80
Figura 4.3 Beneficio Económico de la Optimización del Menú Modelo en un año.....	84

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I	Distribución del grupo objetivo por sexo.....12
Tabla II	Distribución poblacional del Campus "Gustavo Galindo" por rango de edades.....14
Tabla III	Distribución en los comedores.....16
Tabla IV	Desgloce de muestras por edades.....19
Tabla V	Distribución por Sexo y Rango de Edades del grupo objetivo .....21
Tabla VI	Resultados del cálculo del GEB individual.....24
Tabla VII	Gasto Energético Basal representativo en kcal/día.....28
Tabla VIII	Gasto energético bruto en determinadas actividades. Expresado como múltiplo de la Tasa de Metabolismo Basal..29
Tabla IX	Gasto Energético Representativo Diario en Kcal.....35
Tabla X	Promedio de necesidades energéticas diarias de adultos con actividad ocupacional clasificada, expresadas como múltiplos de la TMB.....36
Tabla XI	Tabla Comparativa de Pesos y Tallas.....38
Tabla XII	Requerimientos Nutricionales.....39
Tabla XIII	Fuentes Nutricionales.....41
Tabla XIV	Contenido nutritivo del menú modelo.....
Tabla XV	Porcentaje de rendimientos y desperdicios en la etapa preliminar.....47
Tabla XVI	Peso equivalente de las medidas prácticas.....48
Tabla XVII	Resultados parciales de la optimización.....74
Tabla XVIII	Comparación de resultados nutricionales.....78
Tabla XIX	Valor del menú diario para diferente número de personas.....82
Tabla XX	Ahorro producido por la optimización dl menú.....83

## **INTRODUCCION**

El aumento del interés por la nutrición en la última década se debe a que al avanzar en su conocimiento se observa el nexo existente entre alimentación, salud y desarrollo. En los países en vías de desarrollo el problema parece centrarse en tener el mínimo de alimentos para poder subsistir. Utilizar eficientemente los recursos que poseen debe ser una tarea constante.

En los actuales momentos en que un país como el Ecuador atraviesa una grave crisis económica, las empresas buscan aumentar sus ganancias y una de las formas de hacerlo es reduciendo sus costos mediante la optimización de procesos, sistemas y recursos, lo cual está evolucionando rápidamente al punto de convertirse en una herramienta indispensable para el desarrollo económico – industrial del país. Como producto de este desarrollo se han verificado cambios en los horarios de trabajo, esto es, de una sola jornada, por lo que cada vez es más común observar el incremento de personas que optan por alimentarse fuera del hogar, sobre todo a la hora del almuerzo. La elevada población de los centros universitarios, la cual, debido a los horarios de estudios y otras actividades, necesita consumir una o más raciones alimenticias dentro de éstos, hace necesaria la existencia de un menú que tenga bajo costo y el valor nutritivo adecuado.

# Capítulo 1

## 1. CONSIDERACIONES NUTRICIONALES

### 1.1 Definición de alimento

Es la sustancia o producto, natural o transformado, que, por sus características, aplicaciones o componentes es utilizado como vehículo para la nutrición humana.

### 1.2 Tipos de alimentos

La clasificación de la OMS considera que los alimentos más frecuentes que se componen en América Latina son de origen animal, vegetal, grasas y aceites y bebidas e infusiones.

Las misiones de los alimentos son de tres tipos: plástica, energética y reguladora.

- a) La misión plástica consiste en la estructura de órganos y tejidos de especial importancia durante el crecimiento y gestación. Está fundamentalmente a cargo de las proteínas y también de los lípidos.
  
- b) La misión energética la desempeñan, en diferentes proporciones, glúcidos, lípidos y aminoácidos.. La energía suministrada por los nutrientes se mide en kilocalorías.
  
- c) La misión reguladora de los nutrientes está directamente relacionada con regular las reacciones bioquímicas. Podemos destacar en este grupo a las vitaminas y las sales minerales.

Mención especial merece el agua, no considerada alimento, pero indiscutiblemente es el nutriente más importante para la vida humana.

### **Clasificación de los nutrientes**

Los nutrientes se definen como las sustancias integrantes de los distintos alimentos útiles para el metabolismo orgánico. Son de seis clases:

1. Proteínas, que aportan con aminoácidos para el crecimiento y la reparación de los tejidos. Cada gramo proporciona 4 kilocalorías.
2. Carbohidratos o glúcidos, cada gramo aporta 4 kilocalorías.
3. Lípidos, pueden ser de tipo animal o vegetal. Tienen un contenido calórico de 9 Kcal/g y son fundamentalmente triglicéridos, fosfolípidos y esteroides.
4. Minerales, que no aportan energía pero regulan procesos biológicos del organismo. Se atribuyen el 4% del peso corporal; además, son constituyentes de los tejidos duros y blandos(Calcio, Fósforo), se encuentran en la sangre, los músculos y otros órganos del cuerpo.

Los minerales se clasifican según sus necesidades en

Macroelementos como el Calcio, Fósforo, Potasio; necesidades en gramos por día.

Oligoelementos como el Zinc, Hierro, Cobre; necesidades en miligramos por día.

5. Vitaminas, son nutrientes no energéticos indispensables para algunas reacciones bioquímicas, se necesitan en pequeñas cantidades. Actuando en general como coenzimas.

6. Agua, sirve de vehículo en los procesos de absorción, transporte, intercambio, secreción y excreción del organismo.

Las vitaminas, carbohidratos, lípidos y proteínas son nutrientes orgánicos al contener en su estructura átomos de carbono y solamente los tres últimos son considerados nutrientes energéticos por su aporte de Kilocalorías.

### 1.3 Requerimientos dietéticos normales

Para tener un desarrollo fisiológico correcto y llevar una alimentación adecuada y equilibrada es esencial escoger bien los alimentos. A fin de asegurar la ingestión adecuada de nutrientes, debemos saber la ración que requiere nuestro cuerpo.

<b>Proteínas</b> 12 - 15%
------------------------------

<b>Lípidos</b> 20 - 30%
----------------------------

<b>Carbohidratos</b> 50 - 60%
----------------------------------

Los requerimientos de agua son de 2.000 a 2.500 ml diarios en los adultos.

En una dieta equilibrada, los glúcidos aportan entre el 50 y 60% del total de calorías. Se recomienda que sea el 58% divididos en: 48% como pan, cereales, papas, vegetales, frutas y leche y el 10% azúcar refinada y procesada que se adiciona a los alimentos.

Se recomienda el consumo de 1.2 g/día de lípidos por kilogramo de peso, lo que representa entre un 20 - 30% del total de calorías. El contenido de grasas en la dieta varía de acuerdo a las necesidades energéticas. Así, una persona con actividad intensa consumirá más grasa que una con actividad sedentaria.

El requerimiento de proteínas es de 0.8 g/día por kilogramo de peso corporal. Las proteínas deben proporcionar de un 12 - 15% del total de calorías necesitadas; por lo menos el 65% de esa necesidad deben ser proteínas animales de alto valor como huevo, leche y carne y el 35% restante provenir de fuentes vegetales, cereales y frutas.

A su vez, la pirámide nutricional (Figura 1.1) es una herramienta alimenticia referencial, introducida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos que proporciona información sobre las porciones diarias equilibradas de los diferentes grupos de alimentos que permitan llevar una vida sana.

La pirámide nutricional ha sido dividida por niveles según la cantidad de porciones alimenticias recomendadas, ubicándose en la base de la misma el grupo de alimentos que deben consumirse en mayor proporción. En la cúspide de la pirámide están ubicadas las grasas, los aceites y dulces. Estos alimentos son poco nutritivos pero proporcionan muchas calorías. En el nivel siguiente están dos grupos de alimentos que provienen de los animales: los lácteos y las carnes, aves y pescados, los cuales son alimentos ricos en proteínas, calcio, hierro y zinc. El tercer nivel en la pirámide incluye los vegetales y las frutas, ricos en fibra y vitaminas sobre todo vitamina A y vitamina C, además de minerales como hierro y magnesio. En la base de la pirámide están los panes y cereales, de los cuales deben consumirse más porciones diarias.

#### **1.4 Hábitos alimenticios en la región**

Los factores determinantes de los hábitos alimentarios son múltiples y complejos ya que no es sólo para nutrirnos que comemos. Además de la satisfacción nutricional se deben considerar varios factores como: el placer, la cultura, la religión, la política, la conmemoración familiar o la escasez de los países subdesarrollados. Uno de los factores determinantes de los hábitos alimentarios es la disponibilidad de comestibles, el cual a su vez recibe el influjo de la ubicación geográfica, clima y temperatura, políticas económicas, decisiones gubernamentales y tradiciones culturales.

·

Cuando no existe un conocimiento sobre el valor nutritivo de los alimentos, la elección se hace en base de las inclinaciones culturales y familiares y a los medios económicos, corriendo el riesgo de excluir alimentos nutritivos. En el Ecuador, la carne, los productos lácteos y los huevos tienen un precio alto y la gente no puede adquirirlos en cantidades suficientes y de ahí que prescindan de ellos por lo que recurre a otros productos más baratos como leguminosas y granos.

También el comportamiento del grupo influye en los hábitos alimentarios. La organización de la sociedad en diversas estructuras, con sus propios sistemas de valores, desempeña un papel importante en la aceptación o rechazo de ciertas formas de alimentación.

Las campañas de publicidad mueven al cliente a adquirir artículos que no precisamente tengan el valor nutritivo adecuado. Las preferencias dependen de la asociación placentera o desagradable con la presentación, olor y sabor.

En un mundo de cambios tan acelerados como el actual, la comodidad es otro factor de gran influencia, por ejemplo, últimamente se han incrementado los locales de comida rápida.

# Capítulo 2

## 2. DISEÑO DEL MENU

El diseño del menú modelo considerará principalmente platos de preparación sencilla y bajo costo, el requerimiento energético del grupo objetivo, además del valor nutricional de los alimentos locales. Para realizar el diseño del menú, primero es necesario definir el grupo de personas que será estudiado para este fin.

### **Selección del grupo objetivo**

El grupo objetivo estará formado por las personas a las cuales se les cubrirá una parte de su gasto energético diario. En vista de que el Campus "Gustavo Galindo Velasco" de la ESPOL cuenta con la más elevada población de la Institución, parte de la cual, debido a los horarios de clases, localización y otras actividades, debe consumir raciones alimenticias en los diversos comedores y bares con que cuenta este centro de estudios, se definió como grupo objetivo el conformado por

hombres y mujeres sean éstos: estudiantes, docentes y del personal administrativo de este Campus.

### **Diseño de la muestra**

Las fuentes de información para el diseño de la muestra fueron: El Departamento de Personal, el Centro de Registros, Calificaciones y Estadísticas(CRECE) y los Administradores de los comedores.

Luego del ordenamiento, revisión y análisis de la información proporcionada tanto por el Departamento de Personal como por el CRECE, se obtuvieron los siguientes resultados:

**TABLA I**  
**DISTRIBUCION DEL GRUPO OBJETIVO POR SEXO(1)**

<b>Grupo</b>	<b>Nº hombres</b>	<b>Nº mujeres</b>	<b>Total</b>
Estudiantes	2445	943	3388
Personal docente	204	15	219
Personal administrativo	227	121	348
<b>Total</b>	<b>2876</b>	<b>1079</b>	<b>3955</b>

Elaborado por: Karín Coello Ojeda

Los datos analizados corresponden al II Término Académico 1999 - 2000 donde la población total del Campus Gustavo Galindo es de

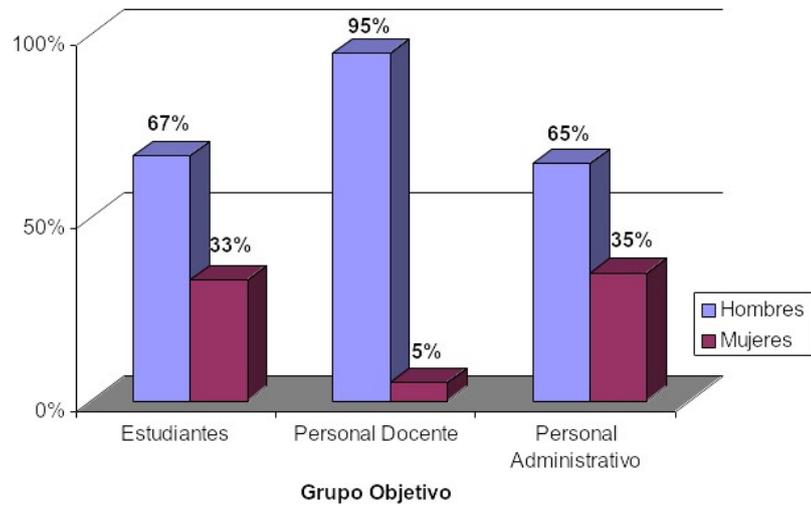
aproximadamente 3.955 personas, de las cuales el 85,7% son estudiantes, el 5,5% personal docente y el 8,8% corresponde al personal administrativo. El 73% son hombres y 27% son mujeres. Del análisis de resultados también se desprende que existen casi tres estudiantes varones por cada estudiante mujer; dos hombres por cada mujer de personal administrativo y trece profesores por cada profesora.

**TABLA II**  
**DISTRIBUCION POBLACIONAL DEL CAMPUS “GUSTAVO GALINDO” POR RANGO DE EDADES (2)**

	MUJERES			HOMBRES			TOTAL
	Edades	Cantidad	%	Edades	Cantidad	%	
ESTUDIANTES	18-25	841	33	18-25	1702	67	2543
	26-48	102	12	26-69	743	88	845
		943			2445		3388
PERSONAL DOCENTE	36- 60	10	5	36- 60	173	95	183
	36>M>60	5	14	36>H>60	31	86	36
		15			204		219
PERSONAL ADMINISTRATIVO	31- 60	96	35	31- 60	182	65	278
	31>M>60	25	36	31>H>60	45	64	70
		121			227		348

Elaborado por: Karín Coello Ojeda

Para el diseño de la muestra se determinó el número de hombres y mujeres dentro de un rango de edades predominante.



Elaborado por: Karín Coello Ojeda

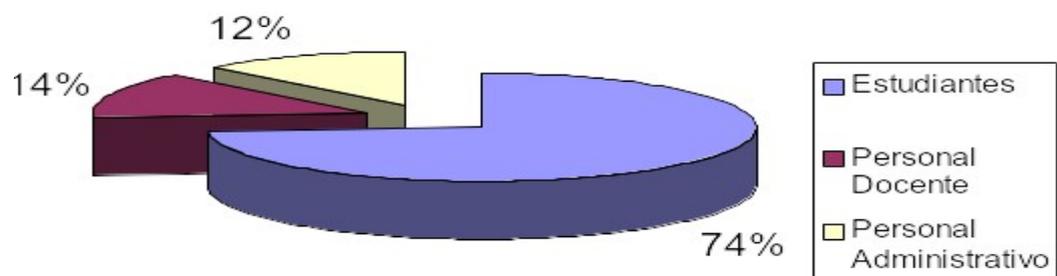
**FIGURA 2.1. DISTRIBUCION POBLACIONAL DENTRO DE LOS RANGOS DE EDADES PREDOMINANTES**

Se determinó que el 75% de la población estudiantil tiene entre 18 y 25 años; el 83,6% del personal docente tiene entre 36 y 60 años y que el 80% del personal administrativo tiene entre 31 y 60 años. Observándose que la mayoría de la población se encuentra dentro de estos rangos de edades, utilizaremos para los cálculos posteriores muestras de los tres rangos de edades predominantes que son: entre 18 y 25 años para estudiantes, 36 a 60 años el personal docente y 31 a 60 años personal administrativo, dentro de los cuales existen dos estudiantes varones por cada mujer, diecisiete profesores por cada profesora y dos hombres por cada mujer de personal administrativo.

**TABLA III**  
**DISTRIBUCION EN LOS COMEDORES(3)**

COMEDOR	TOTAL	Estudiantes	Personal docente	Personal administrativo
Ingenierías	180	140	20	20
Coliseo	120	100	10	10
Bar FICT	100	78	12	10
Bar FIMCP	90	80	4	6
Economía	200	150	25	25
Tecnologías	110	82	8	20
Poliesnack	150	70	55	25
<b>TOTAL</b>	<b>950</b>	<b>700</b>	<b>134</b>	<b>116</b>

Elaborado por: Karín Coello Ojeda



**FIGURA 2.2. PERSONAS QUE ALMUERZAN EN EL CAMPUS**

Según la información proporcionada por los administradores de los diversos comedores y bares que funcionan en el Campus, en la Tabla III se observa que el flujo promedio de personas que almuerzan dentro de

este centro educativo es de 950 personas, de las que 700 son estudiantes, 134 personal docente y 116 personal administrativo. Es decir, que el 24% del total de la población utiliza los comedores, siendo el 74% estudiantes, 14% personal docente y el 12% personal administrativo

Con todos estos datos y en base a la norma estadística American Society for Quality Control del American National Standards Institute, ANSI ASQC Z14-1.993, se tomó por separado una muestra de cada grupo: estudiantes, personal docente y personal administrativo.

En la Tabla 1 (Anexo A) de esta norma existe un código de letras según el tamaño del lote, el cual se muestra por rangos en el lado izquierdo de la tabla. A la derecha de la tabla se encuentran las letras ubicadas según el nivel de inspección que puede ser especial o general. Existen tres niveles de inspección general. Se seleccionó una letra para un nivel general de inspección intermedio para cada uno de los tres lotes: Para el lote de los estudiantes se tomó la letra J y para el personal docente y el administrativo, la F. La letra seleccionada muestra, en la Tabla II-A (Anexo B) de la misma norma, el tamaño de la muestra: Para J se deben tomar ochenta muestras y para F veinte.

Los resultados obtenidos al utilizar las tablas de la norma ANSI ASQC Z14-1.993 fueron:

<b><u>Grupo</u></b>	<b><u>Lote</u></b>	<b><u>Cantidad de muestras</u></b>	
Estudiantes	700	80	54 hombres 26 mujeres
Personal Docente	134	20	19 hombres 1 mujer
Personal Administrativo	116	20	13 hombres 7 mujeres

La muestra está estructurada de tal forma que se mantienen las mismas proporciones del universo poblacional (Figura 2.1): 33% deben ser estudiantes mujeres y el 67% varones; 5% deben ser profesoras y el 95% profesores, 35% mujeres y 65% hombres de personal administrativo (Tabla IV).

**TABLA IV**

**DESGLOCE DE LAS MUESTRAS POR EDADES(4)**

Grupo	Número total de muestras	Edad	Porcentaje poblacional		Número de muestras	
			mujeres	varones	mujeres	varones
<b>Estudiantes</b>	<b>80</b>	18	10.8%	14.6%	9	12
		19	8.3%	13.4%	7	11
		20	3.1%	6.7%	2	5
		21	1.3%	5.1%	1	4
		22	1.8%	3.5%	1	3
		23	2.9%	7.5%	2	6
		24	3.1%	8.6%	2	7
		25	1.8%	7.5%	1	6
				<b>33%</b>	<b>67%</b>	<b>26</b>
<b>Personal Docente</b>	<b>20</b>	36	0.5%	1.6%	0	0
		37	0.0%	1.1%	0	0
		38	0.5%	6.0%	0	1
		39	0.0%	3.3%	0	1
		40	0.0%	3.8%	0	1
		41	0.5%	3.8%	0	1
		42	0.5%	2.7%	0	1
		43	0.0%	1.6%	0	0
		44	1.1%	3.3%	1	1
		45	0.5%	5.5%	0	1
		46	0.5%	3.8%	0	1
		47	0.5%	1.6%	0	0
		48	0.0%	3.3%	0	1
		49	0.0%	4.9%	0	1
		50	0.5%	3.3%	0	1
		51	0.0%	9.3%	0	2
		52	0.0%	5.5%	0	1
		53	0.0%	7.1%	0	1
		54	0.0%	3.8%	0	1
		55	0.0%	3.8%	0	1
		56	0.0%	3.8%	0	1
57	0.0%	5.5%	0	1		
58	0.0%	2.2%	0	0		
59	0.0%	2.2%	0	0		
60	0.0%	1.6%	0	0		
		<b>5%</b>	<b>95%</b>	<b>1</b>	<b>19</b>	

**TABLA IV**

**DESGLOCE DE LAS MUESTRAS POR EDADES (4)**

**(Continuación)**

<b>Personal Administrativo</b>		31	0.7%	1.4%	0	0
		32	0.7%	0.4%	0	0
		33	1.4%	1.4%	0	0
		34	0.7%	1.8%	0	0
		35	1.4%	3.2%	0	1
		36	1.1%	1.8%	0	0
		37	3.2%	2.5%	1	1
		38	3.6%	1.4%	1	0
		39	2.5%	1.8%	1	0
		40	0.7%	4.0%	0	1
		41	1.4%	4.0%	0	1
		42	2.9%	3.6%	1	1
		43	1.4%	3.2%	0	1
		44	1.4%	1.8%	0	0
		45	3.2%	2.2%	1	0
		46	0.7%	2.2%	0	0
		47	0.4%	2.2%	0	0
		48	0.7%	4.3%	0	1
		49	1.4%	1.8%	0	0
		50	0.7%	1.4%	0	0
		51	1.1%	2.2%	0	0
		52	1.1%	1.8%	0	0
		53	0.0%	2.9%	0	1
		54	0.4%	3.6%	0	1
		55	0.0%	0.7%	0	0
		56	0.7%	1.4%	0	0
		57	0.4%	1.1%	0	0
		58	0.0%	2.5%	0	1
		59	0.0%	1.4%	0	0
		60	0.4%	1.4%	0	0
			<b>35%</b>	<b>65%</b>	<b>7</b>	<b>13</b>

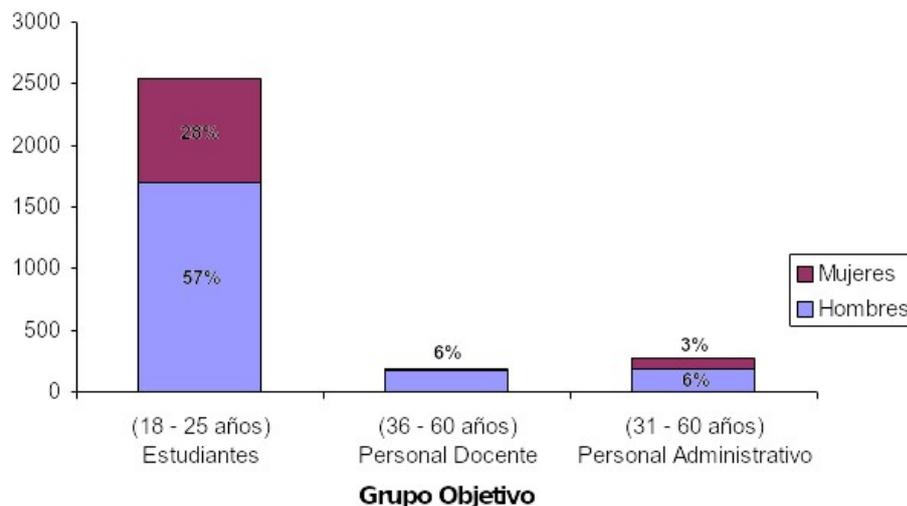
**TABLA V**

**DISTRIBUCION POR SEXO Y RANGOS DE EDADES DEL GRUPO  
OBJETIVO (5)**

<b>Grupo Objetivo</b>	<b>Hombres</b>	<b>% Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>% Mujeres</b>
Estudiantes (18 - 25 años)	1702	57%	841	28%
Personal Docente (36 - 60 años)	173	6%	10	0%
Personal Administrativo (31 - 60 años)	182	6%	96	3%
<b>Total</b>	<b>2057</b>	<b>68,5%</b>	<b>947</b>	<b>31,5%</b>

Elaborado por: Karín Coello Ojeda

El total de la población del grupo objetivo es de 3.004 personas dentro de los rangos establecidos; de las cuales el 68,5% son hombres y 31,5% son mujeres. El 85% son estudiantes, el 6% personal docente y el 9% personal administrativo.



Elaborado por: Karín Coello Ojeda

**FIGURA 2.3.** DISTRIBUCIÓN POR SEXO Y RANGO DE EDADES DEL GRUPO OBJETIVO

## 2.1 Cálculo del gasto energético

Para obtener el gasto energético diario del grupo objetivo se dividió el trabajo en dos partes: Primero se calculó el Gasto Energético Basal (GEB) de cada persona encuestada y los resultados fueron ponderados, es decir, se los multiplicó por su correspondiente porcentaje, de tal forma que al final obtengo un solo GEB representativo de todo el grupo objetivo. Luego, se realizó un registro de las actividades físicas de una parte de la muestra, puesto que las actividades físicas son similares según la ocupación,

ponderando también estos resultados, obteniéndose así un valor representativo del gasto energético del grupo objetivo.

### **Cálculo del Gasto Energético Basal**

El Metabolismo Basal ó Gasto Energético Basal (GEB), es el consumo mínimo de energía necesario para mantener las funciones vegetativas, es decir las calorías por hora que consume un individuo en estado de reposo completo.

La energía que suministran los alimentos es necesaria para mantener las funciones orgánicas, sean éstas solamente las funciones vegetativas, o para desarrollar un trabajo.

Del muestreo realizado dentro del Campus, se obtuvo pesos, tallas y edades del grupo objetivo para ser utilizadas en la ecuación de Henry Benedict cuyo resultado se da en kilocalorías por día.

### **Ecuación de Henry Benedict**

$$\text{GEB (mujeres)} = 665 + (9.6 \times P) + (1.7 \times T) - (4.7 \times E) \quad (2.1)$$

$$\text{GEB (hombres)} = 66 + (13.7 \times P) + (5 \times T) - (6.8 \times E) \quad (2.2)$$

P = peso (Kg)

T = talla(cm)

E = edad(años)

De esta manera se obtiene el GEB para cada uno de los sexos, tallas y pesos de una misma edad que luego se promedian obteniéndose un solo GEB para cada edad (Tabla VI).

El cálculo del Gasto Energético Basal representativo del grupo objetivo, se realizará multiplicando las proporciones de estudiantes, personal docente y administrativo hombres y mujeres de la población total del Campus por su correspondiente gasto energético basal.

Para calcular el Gasto Energético Basal representativo del grupo estudiado se desarrolló la siguiente ecuación:

$$GEB = \sum_i^z \left[ n_i (GEB_{n_i}) \right] \quad (2.3)$$

Donde:

$n$  = proporción de hombres ó mujeres

$i$  = edad mínima del grupo ocupacional

Estudiantes,  $i = 18 - 25$

Personal docente,  $i = 36 - 60$

Personal administrativo,  $i = 31 - 60$

$z$  = edad máxima del grupo ocupacional

Reemplazando valores:

Para los estudiantes (varones)

$$GEB_{eh} = \left[ \begin{array}{l} (0,15 * 1737,15) + (0,13 * 1724,20) + (0,07 * 1643,08) + (0,05 * 1700,83) + \\ (0,04 * 1887,72) + (0,08 * 1767,39) + (0,09 * 1761,83) + (0,08 * 1799,70) \end{array} \right]$$

$$GEB_{eh} = 1168,44$$

Para los estudiantes (mujeres)

$$GEB_{em} = \left[ \begin{array}{l} (0,11 * 1382,87) + (0,08 * 1483,17) + (0,03 * 1407,01) + (0,01 * 1361,94) + \\ (0,02 * 1564,18) + (0,03 * 1349,73) + (0,03 * 1321,51) + (0,02 * 1356,74) \end{array} \right]$$

$$GEB_{em} = 465,15$$

Para el personal docente (varones)

$$GEB_{ph} = \left[ \begin{array}{l} 0,1 * (1697,65 + 1727,72) + 0,05 * (16 \\ + 0,03 * (1670,85 + 1650,53 + 1511,3 \\ 0,04 * (1613,18 + 1623,84) + 0,07 * 15 \end{array} \right]$$

$$GEB_{ph} = 1534,42$$

Para el personal docente (mujeres)

$$GEB_{pm} = [(0,05 * 1312,49)] =$$

$$GEB_{pm} = 65,63$$

Para el personal administrativo (varones)

$$GEB_{ah} = \left[ \begin{array}{l} 0,07 * (1574,37 + 1567,55 + 1863,95 + \\ + 0,11 * 1490,53 + 0,05 * 1385,53 + 0,0 \\ + 0,04 * (1583,55 + 1483,52 + 1527,22 \end{array} \right]$$

$$GEB_{ah} = 1095,77$$

Para el personal administrativo (mujeres)

$$GEB_{am} = \left[ \begin{array}{l} 0,08 * 1277,05 + 0,12 * 1467,32 + 0,05 * (1267,65 + 1315,09) \\ + 0,04 * 1491,38 + 0,01 * 1484,70 \end{array} \right] =$$

$$GEB_{am} = 481,88$$

Para el GEB representativo del grupo objetivo

$$GEB = [GEB_c * 0,85 + GEB_p * 0,06 + GEB_a * 0,09] =$$

$$GEB = [(GEB_{ch} + GEB_{cm}) * 0,85 + (GEB_{ph} + GEB_{pm}) * 0,06 + (GEB_{ah} + GEB_{am}) * 0,09] =$$

$$GEB = [(1633,59) * 0,85 + (1600,05) * 0,06 + (1577,65) * 0,09] =$$

$$GEB = 1626,54Kcal / día$$

**TABLA VII**  
**GASTO ENERGETICO BASAL REPRESENTATIVO**

en Kcal/día (7)

GRUPO	SEXO	GEB ponderado	GEB aritmético
Estudiantes	Hombres	1168,44	1752,74
	Mujeres	465,15	1403,39
Personal docente	Hombres	1534,42	1615,6
	Mujeres	65,63	1312,5
Personal administrativo	Hombres	1095,77	1560,6
	Mujeres	481,88	1383,9
GEB	Hombres		1642,97
	Mujeres		1366,59
<b>GEB REPRESENTATIVO</b>		<b>1626,54</b>	<b>1504,78</b>

Los valores de los promedios obtenidos por dos métodos diferentes: uno ponderando y el otro aritméticamente, son muy similares en los resultados parciales, sin embargo, el GEB ponderado sigue siendo el más preciso ya que se lo obtuvo a partir

de distribuciones porcentuales de la población estudiada, por lo tanto será este valor el que se utilice para el cálculo de las actividades físicas.

### **Cálculo del Gasto Energético por Actividades Físicas**

En una hoja de registro (Anexo C) se anotó individualmente las actividades diarias correspondientes a las 24 horas del día a diez personas de diferente sexo, edad (comprendida dentro del rango establecido) y ocupación: 5 estudiantes, 3 profesores y 2 personas de personal administrativo, que formaron la muestra representativa de todo el grupo objetivo ya que las actividades físicas son similares según la ocupación.

Para calcular el gasto energético de cada actividad se utilizó la tabla del gasto energético bruto en determinadas actividades (Anexo D), donde se detalla la actividad y su correspondiente gasto energético expresado como múltiplo de la tasa de metabolismo basal (TMB). En esta tabla se presenta información sobre algunas actividades, por lo que, en base a ésta se elaboró la TABLA VIII aproximando las actividades no incluidas a las más parecidas desde el punto de vista del esfuerzo físico que significa su realización.

Después de obtener el gasto energético basal por hora, dividiendo el GEB representativo para 24, se multiplica este valor por el múltiplo de la TMB y por el tiempo correspondiente a la realización de cada actividad. Se suman las Kilocorías de todas las actividades realizadas durante el día para obtener la estimación de la necesidad energética o gasto energético diario.

$$\text{Gasto energético diario} = \sum \left[ \frac{GEB}{24} \times \mu \times \theta \right] \quad (2.4)$$

Donde,

$\mu$ = múltiplo de la Tasa de Metabolismo Basal (TMB)

$\theta$ = tiempo en horas

Por ejemplo, el gasto energético diario de una estudiante de 25 años de edad por la realización de una actividad física como caminar a velocidad normal por 20 minutos, será:

$$\text{Gasto energético diario} = \frac{1626,54}{24} \times 3,4 \times 0,33 = 76,04 \text{ Kcal}$$

Al sumar el gasto energético de todas las actividades realizadas durante el día se obtiene el gasto energético total diario:

## REGISTRO DE ACTIVIDADES FISICAS DIARIAS

Edad 25

Actividad(profesión u oficio) estudiante mujer

GEB estimado total 1626.54

GEB por hora 67.7

**Gasto  
total =**

Actividades diarias	$\mu$	$\theta$ (horas)	Kcal
Levantarse	1.4	0.16	15,18
Lavarse, vestirse, ducharse	1.6	0.25	27,11
Caminar a velocidad normal	3.4	0.33	76,04
Sentado tranquilamente	1.2	1.16	94,34
Trabajo en oficina			
Sentado escritorio	1.3	3.75	330,39
De pie y moviéndose	1.6	1.25	135,55
Almorzar	1.5	0.50	50,83
Acostada(o)	1.2	1.33	108,16
Limpieza ligera	2.7	0.50	91,49
Vestirse, ducharse	1.6	0.50	54,22
Internet, ver T.V.	2.2	2.00	298,20
Limpieza moderada(quitar polvo, limpiar ventanas)	3.7	0.50	125,38
Comer	1.5	0.50	50,83
Ver T.V.	2.2	1.00	149,10
Caminar paseando	2.4	0.50	81,33
De pie y moviéndose	1.6	0.50	54,22
Lavarse, vestirse, ducharse	1.6	0.50	54,22
Leer periódico	1.2	0.50	40,66
Dormir	1.0	8.27	525,24
<b>Total = 1.5 x TMB</b>			<b>2397,72</b>

Elaborado por: Karín Coello Ojeda

Para obtener el gasto energético representativo (GER) por actividad física, se ponderó los resultados individuales obtenidos en

la hoja de registro de acuerdo a la distribución porcentual del grupo objetivo.

La fórmula general desarrollada para obtener el Gasto Energético Representativo (GER) diario es la siguiente:

$$GER = \sum (n_g \times GE_g) \quad (2.5)$$

Donde:

n= proporción de hombres ó mujeres

g = grupo ocupacional

Reemplazando los valores para cada grupo queda:

Estudiantes

$$GE_e = 0,57 * 2327,49 + 0,28 * 2366,96 =$$

$$GE_e = 1989,42$$

Personal docente

$$GE_p = 0,06 * 2401,52 + 0,00 * 2535,17 =$$

$$GE_p = 144,09$$

Personal administrativo

$$GE_a = 0,06 * 2508,34 + 0,03 * 2282,40 =$$

$$GE_a = 218,97$$

En base a la fórmula general, el Gasto Energético Representativo diario será:

$$GER = GE_e + GE_p + GE_a \quad (2.6)$$

$$GER = 1989,42 + 144,09 + 218,97 =$$

$$GER = 2352,48Kcal$$

### TABLA IX

#### GASTO ENERGETICO REPRESENTATIVO DIARIO en Kcal(9)

<b>GRUPO OBJETIVO</b>	<b>Resultados</b>
ESTUDIANTES (GE <sub>e</sub> )	1989,42
PERSONAL DOCENTE (GE <sub>p</sub> )	144,09
PERSONAL ADMINISTRATIVO (GE <sub>a</sub> )	218,97
<b>GASTO ENERGETICO REPRESENTATIVO</b>	<b>2352,48</b>

El valor calculado del gasto energético representativo diario del grupo objetivo es 2352,48 Kcal o 1,5 si lo expresamos como múltiplo de la TMB, lo cual se logra dividiendo la necesidad energética por el GEB estimado.

**TABLA X**

**PROMEDIO DE NECESIDADES ENERGETICAS DIARIAS DE  
ADULTOS CON ACTIVIDAD OCUPACIONAL CLASIFICADA**

**Expresadas como múltiplos de la TMB (10)**

	Sedentaria	Ligera	Moderada	Intensa
Hombres	1.4	1.55	1.78	2.10
Mujeres	1.4	1.56	1.64	1.82

Fuente: FAO/OMS/UNU Necesidades de energía y de proteínas .Serie Inf Téc n 724. OMS, Ginebra 1985.

El valor del gasto energético representativo obtenido, se considera como actividad ligera al compararse con el promedio de necesidades energéticas diarias de adultos expresadas como múltiplos de la TMB.

Se dispuso un margen compensatorio del 10% a los resultados obtenidos ya que como promedio un hombre requiere entre 2.500 - 3.000 Kilocalorías (Kcal), además, en promedio, la necesidad energética de una persona de 70 Kg con actividad ligera es de 2240 Kilocalorías (Kcal), y las necesidades energéticas de un oficinista varón, consideradas como trabajo ligero son de 2580 Kilocalorías (Kcal), ó 1,54 expresadas como múltiplo de la TMB. Se

debe considerar también la pérdida de nutrientes durante la preparación (sobre todo cocción) de los alimentos y que se ha tomado un muestra del total de la población donde se ha considerado solamente los rangos de edades predominantes, por lo que es conveniente considerar un valor mayor al calculado. Por lo tanto, el gasto energético representativo diario ó Kilocalorías requeridas por el grupo estudiado es de 2.587,73 Kilocalorías (Kcal).

## **2.2 Determinación de los requerimientos nutricionales**

La Food and Nutrition Board de la Academia Nacional de Ciencias establece un conjunto de normas generales que se deben seguir al planear cubrir las necesidades nutricionales de la población ya que es prácticamente imposible medir las necesidades nutricionales de cada individuo.

Las raciones dietéticas recomendadas son la estimación de la cantidad requerida de un nutrimento para compensar la cantidad que el organismo de una persona sana consume o pierde cada día. Estas raciones fueron establecidas en niveles tales que el que las observe cubrirá sus necesidades personales o las rebasará. Los

niveles superiores que algunos podrían alcanzar al cumplir con las pautas, son inocuos.

### TABLA XI

#### TABLA COMPARATIVA DE PESOS Y TALLAS (11)

	<u>FNB</u>	<u>ESPOL</u>	<u>Latinoamérica</u>
EDAD (años)	18 - 55	18 - 55	18 - 45
TALLA	168 cm	<b>167 cm</b>	161 cm
PESO	64 Kg	<b>68 Kg</b>	59 Kg*

Elaborado por: Karín Coello Ojeda

\*En la tabla latinoamericana, a partir de los cuarenta y cinco años, se debe aumentar un kilo por cada cinco años.

La pauta dietética recomendada por la Food and Nutrition Board muestra valores que se han considerado aplicables para cubrir las necesidades nutricionales de la población ecuatoriana y por lo tanto al grupo objetivo estudiado ya que los pesos y tallas contenidos en esta norma tienen similitud con los promedios de pesos y tallas de Latinoamérica y con los obtenidos en el Campus Gustavo Galindo.

## TABLA XII

### REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES (12)

	<u>TOTAL</u>	<u>PARCIAL</u>
1.KILOCALORÍAS	2587,73	<b>1035,09</b>
2.PROTEINA (g)	97,04	<b>38,82</b>
3.GRASAS (g)	71,88	<b>28,75</b>
4.CARBOHIDRATOS (g)	388,16	<b>155,26</b>
5.CALCIO (g)	0,80	<b>0,32</b>
6.FOSFORO (g)	0,80	<b>0,32</b>
7.HIERRO (mg)	14,00	<b>5,60</b>
8.CAROTENO (mg)	0,80	<b>0,32</b>
9.TIAMINA (mg)	1,18	<b>0,47</b>
10.RIBOFLAVINA (mg)	1,58	<b>0,63</b>
11.NIACINA (mg)	15,33	<b>6,13</b>
12.ACIDO ASCORBICO (mg)	57,50	<b>23,00</b>

Fuente: Food and Nutrition Board-Academia de Ciencias de EE.UU.

Los requerimientos de micronutrientes fueron tomados de la pauta dietética recomendada por la Food and Nutrition Board con excepción de la Vitamina A, ya que su valor aparecía en Unidades Internacionales (UI) y, para efectos de cálculos, al igual que los demás nutrientes, se necesitaba que las unidades sean en miligramos. El requerimiento de nutrientes energéticos fue calculado en base a las Kilocalorías requeridas: El 15% proteínas, el 25% grasas y el 60% carbohidratos. El menú modelo cubrirá parcialmente estos requerimientos.

Normalmente existen tres ingestas diarias: desayuno, almuerzo y merienda. La ingesta del “medio día” será proporcionada por el menú modelo cubriendo el 40% del requerimiento nutricional diario (más de la tercera parte del gasto energético diario).

### **2.3 Elaboración de la dieta**

Aunque dieta significa alimentación para una persona no absolutamente normal, por ejemplo, un obeso, un diabético, etc., se utilizará este término para describir el listado de los alimentos seleccionados para un menú compuesto por sopa o crema, segundo y bebida; con el objeto de cubrir las necesidades nutricionales del grupo estudiado, del cual se ha asumido que tiene un comportamiento normal, sin disfunciones metabólicas, por lo que no es necesario descartar ningún alimento. Por ello, para seleccionar los componentes que integrarían el menú modelo sólo fue necesario escoger aleatoriamente los alimentos en base a su valor nutricional y a su disponibilidad en el mercado local.

**TABLA XIII**  
**FUENTES NUTRICIONALES (13)**

<b>Nutrientes</b>	<b>Alimentos</b>
<b>Proteínas</b>	Origen animal: carnes y pescados, leche, huevos, productos lácteos. Origen vegetal: granos como: maíz, trigo y arroz; leguminosas.
<b>Carbohidratos</b>	Cereales y productos derivados, frutas y dulces
<b>Lípidos</b>	Grasa vegetal: Margarinas, aceites vegetales o frutas, nuez y maní. Grasa animal: Carne, pescados, leche y productos lácteos, yema de huevo
<b>Vitaminas</b>	Vitamina A: Alimentos lipídicos como mantequilla, aceite de hígado de pescado, hígados de animales Acido Ascórbico: Vegetales verdes y cítricos. Niacina: Carnes, pescados, levadura, hígado, riñón, vegetales verdes, legumbres, trigo. Tiamina: Semillas, levadura, germen de trigo. Riboflavina: Carnes, vísceras, leche, pescados.
<b>Minerales</b>	Calcio: Leche, queso, verduras Fósforo: Leche, queso, carne, granos. Hierro: Huevos, carnes magras, legumbres, verduras, granos integrales

Aunque en un mismo alimento pueden encontrarse varios nutrientes, un alimento puede ser la principal fuente de un nutriente en particular, y, contener una elevada cantidad del nutriente en su composición. Los alimentos que contienen una elevada cantidad de nutrientes energéticos influirán directamente sobre la cantidad de kilocalorías proporcionadas por el menú modelo determinando la ingestión de 1.035 Kilocalorías en el almuerzo.

Los componentes de la dieta seleccionada se listan a continuación:

<b>Alimento o Ingrediente</b>	<b>Nutriente destacable</b>
Aceite	Lípidos
Ajo	Minerales y vitaminas
Arroz	Carbohidratos
Avena	Carbohidratos
Carne	Proteínas de origen animal
Cebolla blanca	Minerales
Cebolla colorada	Minerales
Culantro	Minerales
Leche	Proteínas
Leguminosas	Proteínas, Fósforo
Frutas	Carbohidratos, Vitaminas
Azúcar o panela	Carbohidratos
Papas:	Carbohidratos
Pimiento	Minerales
Queso	Proteínas, minerales
Tomate	Minerales
Zapallo	Carbohidratos

#### **2.4 Combinación de los alimentos**

El menú diseñado tendrá tres componentes: la sopa o crema, el arroz y su acompañado y la bebida que puede ser jugo natural o avena.

La combinación de alimentos seleccionada para el diseño del menú modelo, en base a las necesidades energéticas y preferencias del

grupo objetivo, al valor nutricional de los alimentos locales y su precio en el mercado es:

**Primero:** Sopa de zapallo

**Segundo:** Arroz con menestra de lentejas con carne asada

**Bebida:** Avena con naranjillas

#### **2.4.1 Cálculo del aporte nutricional**

Para el cálculo del aporte nutricional del menú modelo diseñado, se empleó la Tabla de Composición de Alimentos Ecuatorianos del Instituto Nacional de Nutrición (Tabla XIV). La sumatoria de los aportes de cada alimento dará como resultado el aporte nutricional de todo el menú.

El aporte nutricional se realiza en base a la cantidad utilizable del alimento o ingrediente, es decir, descartando los desperdicios como cáscaras y pepas.

El cálculo del aporte nutricional de cada uno de los ingredientes del menú modelo está sujeto a la siguiente expresión:

$$\text{Aporte nutricional} = 1000 \left( \frac{A \times I \times R}{C} \right) \quad (2.8)$$

donde,

A = Contenido nutritivo en 100 g

R = Porcentaje de rendimiento

I = Kilogramos de alimento

C = Número de comensales

Las especias, además de estar presentes en pequeñas cantidades, son alimentos que tienen un bajo aporte nutricional, por lo tanto, al igual que el agua, no se consideran para el cálculo del mismo.

#### **2.4 Balance de materiales y cálculo de rendimientos**

En promedio, el número de personas que almuerzan en los diferentes comedores dentro del Campus "Gustavo Galindo" son 140 (Tabla III) por lo tanto, se harán los cálculos de las cantidades de alimentos para el menú modelo, en base a este promedio.

Las especias no serán consideradas para el balance general y el cálculo de rendimientos ya que están presentes en pequeñas cantidades que no afectan el cálculo general.

Para determinar los rendimientos e indirectamente, por diferencia, la cantidad de desperdicios de materia prima en la etapa preliminar del proceso (antes de la cocción), se pesó 1 Kilogramo de cada alimento e ingrediente antes y después de la operación preliminar.

Utilizando la siguiente expresión se obtienen los rendimientos del proceso de elaboración del menú modelo:

$$R = \frac{P_f}{P_i} \times 100 \quad (2.7)$$

donde,

R = Rendimiento

P<sub>i</sub> = Peso inicial de la materia prima

P<sub>f</sub> = Peso final del alimento, antes de la cocción (si ésta es necesaria)

El porcentaje de desperdicios de cada alimento e ingrediente se calcula por diferencia entre el cien por ciento correspondiente al peso inicial de la materia prima menos su porcentaje de rendimiento:

$$D = 100 - R$$

donde,

D = Porcentaje de merma o desperdicios

También pueden calcularse los desperdicios directamente utilizando la siguiente expresión:

$$D = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (2.8)$$

**TABLA XV**  
**PORCENTAJE DE RENDIMIENTOS Y DESPERDICIOS EN LA**  
**ETAPA PRELIMINAR (15)**

Materia prima	%	%
	Rendimientos	Desperdicios
Ajo	94	6
Arroz	95	5
Carne de res	70	30
Cebolla blanca	70	30
Cebolla colorada	75	25
Culantro	96	4
Perejil	96	4
Lentejas	95	5
Plátano verde	61	39
Papas	81	19
Pimiento	81	19
Tomate	80	20
Zapallo	73	27

Los porcentajes de desperdicios en naranjillas, leche, aceite, queso y panela se consideran despreciables. El porcentaje de desperdicios del arroz corresponden a la etapa de selección del mismo.

**TABLA XVI****PESO EQUIVALENTE DE LAS MEDIDAS PRACTICAS (16)**

<b>Alimentos</b>	<b>Medida práctica</b>	<b>Equivalencia en Kg</b>
Leche fluída	1 taza	0,20
Queso	1 porción tamaño caja de fósforo	0,03
Apio	1 porción regular	0,08
Cebolla	1 unidad pequeña	0,17
Choclo	1 porción regular	0,07(comestible)
Papa	1 unidad regular	0,08 – 0,10
Tomate	1 unidad regular	0,10 – 0,15
Zapallo	1 porción regular	0,06
Lenteja	1 porción regular	0,07(crudo)
Arroz	1 porción regular	0,06(crudo)
Aceite	1 cucharada	0,01

El cálculo de las cantidades de alimentos se desarrolló en base a recetas existentes, elaboradas para un número determinado de personas. Como las cantidades de ciertos productos alimenticios están en medidas prácticas, se utilizó como referencia una tabla de equivalencias con su respectivo peso en Kilogramos. Los pesos de los alimentos que no constan en esta tabla, fueron determinados por medio de pruebas y ensayos con instrumentos de medición.

## Diagrama del proceso de elaboración del Menú Modelo

Se realizaron cinco diagramas de proceso:

- Sopa de zapallo
- Arroz blanco
- Menestra de lentejas
- Carne asada
- Bebida de avena con naranjillas

Las cantidades de materia prima, en kilogramos, para 140 personas, necesarias para elaborar el menú modelo, se detallan para cada uno de sus componentes:

a) Sopa de zapallo:

<u>Materia prima</u>	<u>Peso(Kg)</u>	<u>Utilizado(Kg)</u>
Zapallo	23,00	16,79
Cebolla blanca	0,70	0,49
Culantro	0,06	0,06
Aceite	1,05	1,05
Leche	9,33	9,33
Queso	2,80	2,80
Papas	12,00	9,72
Sal	1,05	1,05
Comino	0,02	0,02
Agua	47,00	47,00
Peso total	97,01	88,30

1. Pesar todos los ingredientes
2. Sacar las semillas, pelar y picar finamente el zapallo
3. Colocar agua fría hasta cubrir el zapallo picado
4. Cocinar hasta que el zapallo se desmenuce
5. Preparar refrito con cebolla, culantro, aceite, sal y comino
6. Pelar y picar las papas
7. Agregar al refrito las papas para sofreír.
8. Agregar la leche y cocinar por 15 minutos con agitación.
9. Agregar a la mezcla el zapallo cocinado
10. Cocinar hasta que las papas estén suaves y adicionar el queso desmenuzado.

b) Arroz con menestra de lentejas y carne asada:

<u>Materia prima</u>	<u>Peso(Kg)</u>	<u>Utilizado(Kg)</u>
Arroz	17,50	16,63
Lentejas	8,75	8,31
Pimiento	3,50	2,84
Cebolla colorada	6,00	4,50
Aceite	0,53	0,53
Culantro y perejil	0,10	0,10
Plátano verde	6,30	3,84
Tomate	2,60	2,08
Sal	1,60	1,60
Ajo	0,30	0,28
Comino	0,03	0,03
Carne de res	12,25	8,58
Agua	26,25	26,25
Peso total	85,68	66,99

Para la menestra:

1. Pesar todos los ingredientes
2. Lavar las lentejas seleccionadas y cocinar en agua hirviendo con un pedazo de pimiento y uno de cebolla
3. Preparar refrito con aceite, cebolla, pimiento y culantro
4. Cuando las lentejas estén cocidas agregar sal, el refrito, el tomate y un plátano verde.
5. Cocinar hasta espesar.

Para el arroz:

1. Pesar el arroz, eliminar cascarillas, lavar y escurrir
2. Cocinar con agua, sal y aceite
3. Servir

Para la carne asada:

1. Pesar la carne, quitar la grasa y lavar
2. Cortar la carne en tajadas
3. Aliñar con sal, ajo y comino
4. Colocar sobre el fuego
5. Servir

d) Bebida de avena con naranjillas:

<u>Materia prima</u>	<u>Peso(Kg)</u>	<u>Utilizado(Kg)</u>
Avena	0,56	0,56
Naranjillas	9,80	9,80
Panela	3,50	3,50
Agua	42,00	42,00
Especias	0,02	0,02
Peso total	55,86	55,86

1. Pesar todos los ingredientes
2. Colocar la panela en el agua
3. Lavar, cortar y aplastar las naranjillas
4. Agregar a la solución de panela, la avena, las naranjillas y las especias
5. Cocinar
6. Enfriar, cernir y servir

#### **2.4 Estimación del costo base del menú elaborado**

Esta estimación corresponde solamente a los costos de los productos alimenticios utilizados para la elaboración del menú.

Como fuente referencial de los precios de los productos se tomó la lista de precios publicada por diario "El Universo", en el período comprendido entre el 25 de Julio y el 5 de Diciembre de 1999 (Figura 2.4) así como datos recogidos de los mercados y ferias libres de la ciudad de Guayaquil hasta el 4 de enero del 2000.

El costo del menú para cada comensal es igual a la sumatoria del valor de la porción de cada alimento componente del menú modelo.

Si el valor de cada porción de alimento es el producto de la cantidad total del alimento en kilogramos por su costo y dividido para el número de personas que se sirven, entonces:

$$\text{Costo del menú} = \sum \left[ \frac{(S_i X_i)}{C} \right] \quad (2.9)$$

donde,

$S_i$  = Valor por Kilogramo de alimento

$C$  = Número total de comensales,  $C = 140$

Debido a la constante variación de los precios de los víveres en los últimos meses se ha tomado los valores más actualizados, partiendo de las referencias antes indicadas.

La lista de precios del menú modelo se detalla a continuación:

**PRODUCTO**

**Sucres por Kg**

Aceite(lt)	14.000
Ajo	18.000
Arroz	5.500
Avena	16.000
Carne de res	26.400
Cebolla blanca	7.200
Cebolla colorada	9.840
Culantro y perejil	5.600
Leche(lt)	6.000
Lentejas	14.000
Plátano verde	3.150
Naranjillas	7.200
Panela	8.000
Papas	2.640
Pimiento	6.900
Queso	24.000
Tomate	10.000
Zapallo	2.800

Fuente: “El Universo”, Mi Comisariato, Supermaxi y Feria Libre al sur de Guayaquil.

Una vez recopilados todos estos datos, como son: los pesos iniciales de las materias primas, la cantidad utilizable de cada alimento, el aporte nutricional del menú modelo, y los precios de los productos en el mercado; en una hoja electrónica de Microsoft Excel (AnexoE) se ubica ordenadamente los datos obtenidos y se desarrollan fórmulas que ligen todos los datos a la cantidad inicial de materia prima en Kilogramos. Para obtener el costo base del menú en la hoja de cálculo, sumamos valores de cada porción de alimento con el botón de sumatoria y ubicamos el resultado al final de la fila (a la derecha).

### **Breve descripción del uso de la hoja electrónica de Excel**

En la hoja electrónica (Anexo E), se colocan en fila los nombres de los alimentos que conforman el menú, en las siguientes filas se va colocando primero, su cantidad en Kilos, luego la cantidad utilizable, la cantidad aproximada por persona en gramos que se calcula dividiendo la cantidad utilizable para el número de personas, el precio por kilogramo del producto y finalmente el valor de la porción de cada alimento que se logra multiplicando la cantidad en Kilos por su precio y luego dividiendo este producto para el número de personas. A continuación se colocan en la primera columna de la hoja, los nutrientes de tal forma que bajo cada alimento esté su correspondiente aporte nutricional.

Además se calculó el peso individual de las porciones de sopa, arroz y jugo y el costo diario del menú modelo para 140 personas.

## **Capítulo 3**

### **3. DISEÑO DE UN MODELO MATEMATICO PARA LA OPTIMIZACION DEL MENU**

Una vez diseñado el menú, se desarrollará un modelo matemático que será verificado con un programa de optimización para minimizar su costo controlando las cantidades de alimentos utilizados en las porciones y evitando la pérdida de su valor nutricional.

La programación lineal es un método de asignación de recursos de la Investigación de Operaciones, cuando el problema consiste en combinar las actividades y los recursos en forma óptima de modo que aumenten las utilidades y los costos disminuyan. Así, el menú modelo optimizado tendrá un mínimo costo con el adecuado valor nutricional, es decir, que los requerimientos energéticos se cubrirán, y además cada ración de los tres componentes del menú modelo tendrán una buena presentación.

Un problema de programación lineal es un problema de optimización para el cual se trata de maximizar o minimizar una función lineal, conocida como función objetivo ( $z$ ), con variables de decisión cuyos valores tienen que satisfacer un conjunto de condiciones llamadas

restricciones. Cada restricción tiene que ser una ecuación o una desigualdad lineal.

Para cada variable de decisión existe una restricción de signo específica que determina si la variable es no negativa ( $x \geq 0$ ) o si no tiene restricción de signo.

### 3.1. Definición de las variables de decisión

Se definió a la variable de decisión  $X_i$ , que será la cantidad en Kilogramos del alimento o ingrediente que forma parte del menú.

$X_1$  = zapallo

$X_{11}$  = cebolla colorada

$X_2$  = cebolla blanca

$X_{12}$  = tomate

$X_3$  = culantro y perejil

$X_{13}$  = carne de res

$X_4$  = aceite

$X_{14}$  = ajo

$X_5$  = leche

$X_{15}$  = avena

$X_6$  = papas

$X_{16}$  = naranjillas

$X_7$  = queso

$X_{17}$  = panela

$X_8$  = lentejas

$X_9$  = arroz

$X_{10}$  = pimienta

### 3.2. Determinación de la función objetivo

La función objetivo es minimizar el costo del menú, o sea:

$$\text{Minimizar } \sum \left[ \frac{(S^* X_i)}{C} \right] \quad (3.2)$$

### **3.3. Definición de las restricciones**

Las restricciones a las que estará sujeto el menú para obtener un bajo costo y valor nutricional adecuado así como una buena presentación de la ración, son:

Restricción de energía. El menú debe aportar igual o mayor que 1036 Kcal

Las restricciones de los nutrientes energéticos: proteínas, lípidos y carbohidratos, obedecen a un rango ya definido: entre el 12 y 15% de proteínas, 20 a 25% grasas y 50 a 60% carbohidratos del total de kilocalorías ingeridas; mientras que las restricciones de micronutrientes deben cumplir el mínimo establecido en la Tabla XII.

El peso de cada uno de los componentes del menú modelo presenta las siguientes restricciones:

Peso en gramos de la sopa de zapallo: Mayor o igual que 250 y menor o igual que 300.

Peso en gramos del segundo: Mayor o igual que 250 y menor o igual que 350.

Peso en gramos de la bebida: Mayor o igual que 80 y menor o igual que 100.

Las restricciones para la fórmula de preparación del menú, en las cuales se determina cuáles son los ingredientes y alimentos claves para mantener la composición del menú.

La restricción de signo asegura que la cantidad en Kilogramos del alimento  $X_i$ , no sea un valor negativo.

### 3.4. Formulación del modelo matemático

Una función  $f(x)$  es una función lineal de  $x$  si y sólo si para algún conjunto de constantes  $c$ ,  $f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$  con exponente uno. Además, para cualquier función lineal  $f(x)$  y cualquier número  $b$ , las desigualdades  $f(x) \geq b$  y  $f(x) \leq b$  son desigualdades lineales.

En base a la expresión 3.2 se obtuvo el siguiente modelo matemático:

$$\begin{aligned} \text{Min} Z = & 20X_1 + 51,43X_2 + 40X_3 + 100X_4 + 48,57X_5 + 18,86X_6 + \\ & 171,43X_7 + 100X_8 + 39,29X_9 + 49,29X_{10} + 70,29X_{11} + 71,43X_{12} + \\ & 188,57X_{13} + 128,57X_{14} + 114,29X_{15} + 51,43X_{16} + 57,14X_{17} \end{aligned}$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

Kilocalorías totales mayor o igual que 1036 (40% del total de los requerimientos)

$$\begin{aligned} & 1,87X_1 + 2,20X_2 + 7,06X_3 + 63,07X_4 + 4,21X_5 + 6,02X_6 + \\ (1) & 15,64X_7 + 8,89X_8 + 24,36X_9 + 1,68X_{10} + 2,89X_{11} + 1,54X_{12} + \\ & 8,90X_{13} + 8,13X_{14} + 4,86X_{15} + 3,21X_{16} + 24,86X_{17} \geq 1036 \end{aligned}$$

Total de proteínas mayor o igual que el 12% y menor o igual al 15% del total de Kcal.

$$\begin{aligned} & 0,15X_1 + 0,29X_2 + 2,25X_3 + 0,89X_5 + 0,46X_6 + 5,4X_7 \\ (2) & + 2,25X_8 + 2,63X_9 + 0,23X_{10} + 0,43X_{11} + 0,23X_{12} + \\ & 6,50X_{13} + 0,80X_{14} + 0,09X_{15} + 0,31X_{16} + 0,17X_{17} \geq 124,32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 0,15X_1 + 0,29X_2 + 2,25X_3 + 0,89X_5 + 0,46X_6 + 5,4X_7 \\ (3) & + 2,25X_8 + 2,63X_9 + 0,23X_{10} + 0,43X_{11} + 0,23X_{12} + \\ & 6,50X_{13} + 0,80X_{14} + 0,09X_{15} + 0,31X_{16} + 0,17X_{17} \leq 155,40 \end{aligned}$$

Total de grasas mayor o igual que el 20% y menor o igual al 25% del total de Kcal.

$$\begin{aligned} & 0,05X_1 + 0,13X_2 + 1,13X_3 + 64,20X_4 + 2,00X_5 + 0,05X_6 \\ (4) & + 9,39X_7 + 0,31X_8 + 0,43X_9 + 0,21X_{10} + 0,20X_{11} \\ & + 0,21X_{12} + 1,44X_{13} + 0,06X_{15} + 0,13X_{16} + 0,13X_{17} \geq 207,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 0,05X_1 + 0,13X_2 + 1,13X_3 + 64,20X_4 + 2,00X_5 + 0,05X_6 \\ (5) & + 9,39X_7 + 0,31X_8 + 0,43X_9 + 0,21X_{10} + 0,20X_{11} \\ & + 0,21X_{12} + 1,44X_{13} + 0,06X_{15} + 0,13X_{16} + 0,13X_{17} \leq 259 \end{aligned}$$

Total de glúcidos mayor o igual que el 50% y menor o igual al 60% del total de Kcal.

$$\begin{aligned} & 1,94X_1 + 2,23X_2 + 5,50X_3 + 0,03X_4 + 1,34X_5 + 5,62X_6 + \\ (6) & 0,71X_7 + 6,54X_8 + 20,68X_9 + 1,46X_{10} + 2,51X_{11} + 1,17X_{12} \\ & + 0,56X_{13} + 7,87X_{14} + 5,03X_{15} + 3,14X_{16} + 25,71X_{17} \geq 518 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 1,94X_1 + 2,23X_2 + 5,50X_3 + 0,03X_4 + 1,34X_5 + 5,62X_6 + \\ (7) & 0,71X_7 + 6,54X_8 + 20,68X_9 + 1,46X_{10} + 2,51X_{11} + 1,17X_{12} \\ & 0,56X_{13} + 7,87X_{14} + 5,03X_{15} + 3,14X_{16} + 25,71X_{17} \leq 621,60 \end{aligned}$$

Aporte de Calcio del menú mayor o igual que 320 mg

$$\begin{aligned}
& 0,68X_1 + 1,30X_2 + 29X_3 + 6,57X_5 + 0,52X_6 + 34,21X_7 \\
(8) \quad & + 2,65X_8 + 0,95X_9 + 0,75X_{10} + 1,55X_{11} + 0,57X_{12} + \\
& 1,10X_{13} + 1,73X_{14} + 0,29X_{15} + 0,79X_{16} + 2,79X_{17} \geq 320
\end{aligned}$$

**Aporte de Fósforo del menú mayor o igual que 320 mg**

$$\begin{aligned}
& 1,15X_1 + 2,20X_2 + 12,88X_3 + 0,07X_4 + 6,21X_5 + 1,56X_6 + \\
(9) \quad & 25,14X_7 + 8,21X_8 + 11,74X_9 + 1,56X_{10} + 2,57X_{11} + 1,60X_{12} \\
& + 10,25X_{13} + 5,10X_{14} + 0,50X_{15} + 2,93X_{16} + 4,07X_{17} \geq 320
\end{aligned}$$

**Aporte de Hierro del menú mayor o igual que 5,60 mg**

$$\begin{aligned}
& 0,04X_1 + 0,03X_2 + 0,81X_3 + 0,01X_4 + 0,01X_5 + 0,08X_6 + \\
(10) \quad & 0,19X_7 + 0,15X_8 + 0,13X_9 + 0,04X_{10} + 0,03X_{11} + 0,04X_{12} \\
& + 0,12X_{13} + 0,03X_{14} + 0,02X_{15} + 0,04X_{16} + 0,37X_{17} \geq 5,60
\end{aligned}$$

**Aporte de Vitamina A del menú mayor o igual que 0,32 mg**

$$\begin{aligned}
& 0,02X_1 + X_3 + 1,07(10)^{-3} X_5 + 3,33(10)^{-3} X_6 + 3,57(10)^{-3} X_7 \\
(11) \quad & + 3,43(10)^{-3} X_8 + 5,71(10)^{-4} X_9 + 0,08X_{10} \\
& + 0,05X_{12} + 5,71(10)^{-4} X_{13} + 0,01X_{16} \geq 0,32
\end{aligned}$$

**Aporte de Tiamina del menú mayor o igual que 0,47 mg**

**(12)**

$$8,70(10)^{-4} X_1 + 2,14(10)^{-3} X_5 + 4,17(10)^{-3} X_6 + 3,57(10)^{-3} X_7 + 1,14(10)^{-3} X_8 + 4,57(10)^{-3} X_9 + 2,86(10)^{-3} X_{10} + 3,33(10)^{-3} X_{11} + 3,85(10)^{-3} X_{12} + 4,08(10)^{-3} X_{13} + 5,10(10)^{-3} X_{16} + 2,86(10)^{-3} X_{17} \geq 0,47$$

**Aporte de Riboflavina del menú mayor o igual que 0,63 mg**

$$(13) \quad 8,70(10)^{-4} X_1 + 0,06X_3 + 9,65(10)^{-3} X_5 + 8,33(10)^{-4} X_6 + 0,03X_7 + 4,57(10)^{-3} X_8 + 2,29(10)^{-3} X_9 + 2,86(10)^{-3} X_{10} + 1,67(10)^{-3} X_{11} + 3,85(10)^{-3} X_{12} + 9,80(10)^{-3} X_{13} + 3,06(10)^{-3} X_{16} + 0,01X_{17} \geq 0,63$$

**Aporte de Niacina del menú mayor o igual que 6,13 mg**

$$(14) \quad 0,02X_1 + 0,01X_2 + 0,25X_3 + 5,36(10)^{-3} X_5 + 0,13X_6 + 7,14(10)^{-3} X_7 + 0,02X_8 + 0,19X_9 + 0,05X_{10} + 0,02X_{11} + 0,04X_{12} + 0,27X_{13} + 0,03X_{14} + 0,11X_{16} + 0,03X_{17} \geq 6,13$$

**Aporte de Acido Ascórbico del menú mayor o igual que 23,00 mg**

$$(15) \quad 1,25X_1 + 0,86X_2 + 25,19X_3 + 0,98X_6 + 9,08X_{10} + 0,43X_{11} + 1,83X_{12} + 1,13X_{14} + 3,43X_{16} \geq 23$$

**Peso en gramos de la sopa de zapallo mayor o igual que 200**

$$(16) \quad X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 \geq 200$$

Peso en gramos del arroz con menestra y carne mayor o igual que  
250

$$(17) X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} \geq 250$$

Peso en gramos de los ingredientes de la bebida mayor o igual que  
80

$$(18) X_{15} + X_{16} + X_{17} \geq 80$$

Cantidad de zapallo mayor o igual que 23 Kg.

$$(19) X_1 \geq 23$$

Cantidad de papa mayor o igual que 12 Kg

$$(20) X_6 \geq 12$$

Cantidad de queso mayor o igual que 2 Kg

$$(21) X_7 \geq 2$$

Cantidad de lenteja mayor o igual que 8 Kg

$$(22) X_8 \geq 8$$

Cantidad de arroz mayor o igual que 17 Kg

$$(23) X_9 \geq 17$$

Cantidad de cebolla colorada mayor o igual que 6 Kg

$$(24) X_{11} \geq 6$$

Cantidad de carne mayor o igual que 12 Kg

$$(25) X_{13} \geq 12$$

Cantidad de ajo menor o igual que 0,3 y mayor o igual que 0,5 Kg

$$(26) X_{14} \geq 0,5$$

$$(27) X_{14} \leq 0,3$$

Cantidad de avena mayor o igual que 0,5 Kg

$$(28) X_{15} \geq 0,5$$

Cantidad de naranjillas mayor o igual que 9 Kg

$$(29) X_{16} \geq 9$$

Cantidad de panela mayor o igual que 3 Kg

$$(30) X_{17} \geq 3$$

Las cantidades de alimentos  $X_i$ , deben ser mayores o iguales que  
cero

$$(31) \begin{aligned} &X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 \\ &+ X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} \geq 0 \end{aligned}$$

Los resultados de la optimización se obtendrán por medio de  
Solver.

# Capítulo 4

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Verificación del modelo utilizando herramientas informáticas

Microsoft Excel es un software que nos proporciona, a través de su herramienta de optimización “Solver”, la solución del modelo proporcionando el valor óptimo de la función objetivo, y, elementos adicionales para realizar un análisis sobre la utilización de los recursos.

Con los datos ingresados en la hoja de cálculo, se procede a optimizar la celda objetivo para obtener el costo mínimo del menú modelo, cubriendo los niveles de nutrientes requeridos y el peso adecuado de cada componente.

Nos ubicamos en la hoja electrónica de Microsoft Excel que contiene todos los datos del menú modelo. De la barra de menú

“Herramientas” se selecciona “Solver” (Anexo F) y aparece una ventana donde se ingresan los siguientes datos:

Celda objetivo: Es la celda del costo del menú modelo, es decir, la función objetivo.

Valor de la celda objetivo: Minimizar

Celdas cambiantes: Es el conjunto de celdas que contienen la cantidad en Kilogramos de cada alimento, es decir, las variables de decisión.

Sujeto a: Las restricciones establecidas

Al terminar de colocar todas las restricciones, en el mismo cuadro de diálogo, seleccionar la opción “adoptar modelo lineal”, luego presionar “Resolver” en la misma ventana y el programa automáticamente nos entrega la solución encontrada de acuerdo a los datos ingresados que corresponden a nuestros requerimientos.

La verificación del modelo matemático para la optimización del menú modelo se realizó en varias etapas: primero se consideró sólo el aspecto nutricional, luego se adicionaron a este criterio las restricciones correspondientes al peso de las porciones de los tres componentes del menú y por último restricciones de formulación

determinando cuáles son los alimentos o ingredientes claves para la preparación del menú modelo.

Adicionando las restricciones de formulación y de los pesos de las porciones de sopa, segundo y bebida del menú modelo para lograr que la composición del menú no se aleje en exceso de la original y que las porciones de los tres componentes tengan un peso razonable para mantener una buena presentación de las raciones, se tienen valores mayores de la función objetivo.

**TABLA XVII**  
**RESULTADOS PARCIALES DE LA OPTIMIZACION (17)**

	<b>Menú Modelo</b>	<b>Solución 1*</b>	<b>Solución 2*</b>
<b>Costo del Menú (en sucres)</b>	7461,52	3049,81	6663,91
<b>Kilocalorías totales</b>	1070,71	1036,00	1213,05
<b>Combinación de los ingredientes</b>	Original	No Adecuada	Adecuada

\* Ver anexos

Del valor original obtenido del diseño del menú modelo, la primera solución corresponde a la optimización del mismo que sólo tiene restricciones nutricionales y la segunda solución muestra los valores del menú modelo optimizado considerando el aspecto

nutricional además del peso de los componentes y la cantidad mínima de ciertos alimentos claves del menú.

Si se considera solamente el aspecto nutricional, entonces el mínimo valor que podría tomar el menú sería el de la solución uno, sin embargo, es necesario agregar otras restricciones por razones de presentación y para mantener la identidad del menú modelo diseñado. La solución dos corresponde al modelo matemático sujeto a todas las restricciones nutricionales, además de restricciones del peso de cada componente y de las cantidades mínimas de los alimentos claves.

Se obtiene el menú modelo diseñado que cubre los requerimientos nutricionales establecidos a un costo mínimo y una buena presentación de la ración.

Los alimentos claves fueron elegidos principalmente en base a su papel dentro del diseño del menú, es decir, que son claves aquellos de los que no se puede prescindir o que difícilmente podrían ser sustituidos por otros similares a menos que se esté realizando un menú diferente. Por ejemplo, los alimentos claves del menú modelo son el zapallo, sin él la sopa no sería de zapallo; las lentejas, el

arroz, la avena. Alimentos como leche y tomate pueden ser sustituidos por leche en polvo y pasta de tomate respectivamente.

Una vez obtenidos los resultados de la optimización, se pueden identificar dos tipos de variables: las variables básicas que son aquellas cuyo valor en el modelo optimizado es distinto de cero y, las variables no básicas que son aquellas que toman valores iguales a cero en el modelo optimizado.

Las variables de los alimentos claves son básicas ya que al condicionar las cantidades mínimas que deben aparecer en el menú siempre serán distintas de cero.

## **4.2 Análisis y discusión de los resultados**

### **Análisis comparativo**

En la Tabla XVII se puede observar que el programa entrega tanto en la solución 1 como en la solución 2, un costo menor al original y que además se cubren los requerimientos energéticos. Al solucionar el primer modelo que sólo tenía restricciones de tipo nutricional, se obtiene un resultado en que la composición del menú no es la misma ya que descarta la mayoría de las variables de decisión y coloca cantidades suficientes de uno o dos alimentos

para cumplir todas las restricciones de nutrientes al mínimo costo. De esta forma, aunque se alcanzan las 1036 Kcal. requeridas por sólo 3049 sucres, el menú modelo para el promedio de ciento cuarenta personas queda reducido a la combinación de tres o cuatro ingredientes incumpliendo los requisitos de presentación.

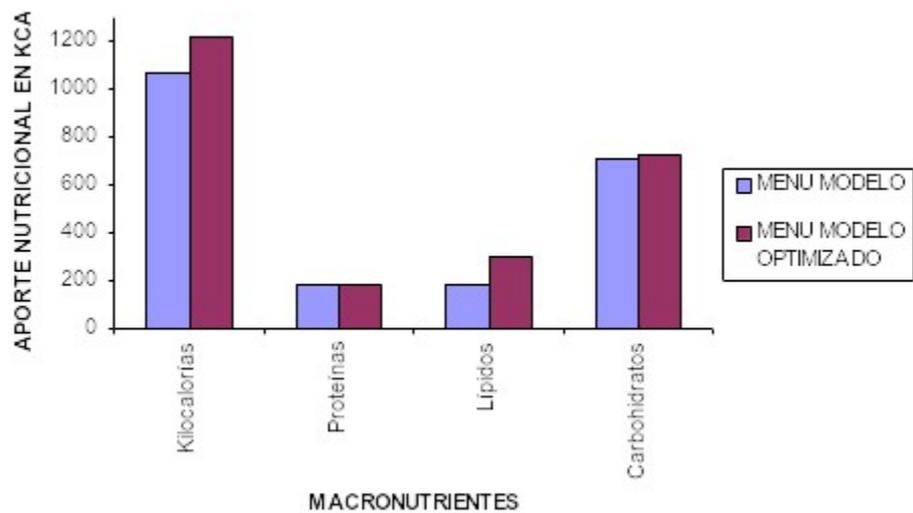
Al complementar el modelo matemático con restricciones que consideran el peso que debe tener cada componente del menú modelo así como las mínimas cantidades de ciertos alimentos que debe contener el mismo se tiene la solución 2, en la cual se logra reducir el costo del menú y se cubren las necesidades energéticas, nutricionales y de presentación.

Se observa que, a medida que el número de restricciones aumenta, el costo del menú también se incrementa. Esto es debido a que el modelo es más estricto mientras mayor sea el número de condiciones, es decir, el número de soluciones posibles se van disminuyendo cada vez más.

Al comparar los valores de los nutrientes requeridos con los obtenidos en el menú modelo diseñado y en el mismo menú optimizado con "Solver" podemos notar cómo se mejoró nutricionalmente el menú original.

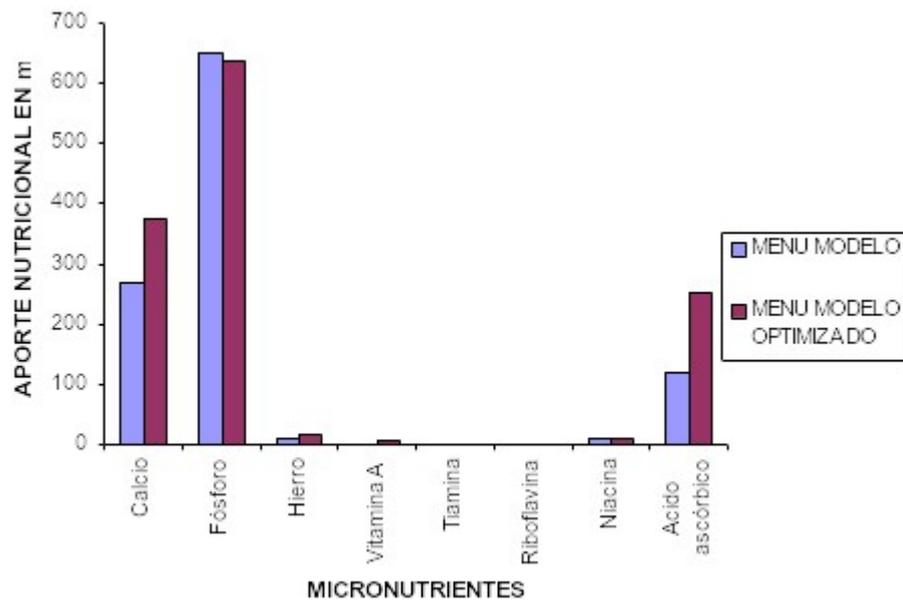
**TABLA XVIII****COMPARACIÓN DE RESULTADOS NUTRICIONALES(18)**

NUTRIENTES	REQUERIMIENTO	MENU MODELO	MENU MODELO OPTIMIZADO
Kilocalorías	1035,09	1070,71	1213,05
Proteínas (expresadas en Kcal.)	155,28	186,17	181,96
Lípidos (expresados en Kcal.)	258,75	180,26	303,26
Carbohidratos (expresados en Kcal.)	621,04	704,28	727,83
Calcio (mg)	320	269,33	374,00
Fósforo (mg)	320	649,89	636,52
Hierro (mg)	5,60	9,82	14,94
Vitamina A (mg)	0,32	1,41	7,96
Tiamina (mg)	0,47	0,34	0,47
Riboflavina (mg)	0,63	0,50	0,76
Niacina (mg)	6,13	10,38	11,59
Acido ascórbico (mg)	23,00	118,27	250,85



**FIGURA 4.1 NIVEL DE MACRONUTRIENTES EN EL MENU**

En el menú modelo el porcentaje de lípidos, carbohidratos y proteínas están fuera del rango recomendado ya que sus valores son del 17%, 66% y 17% respectivamente, del total de Kilocalorías que son 1070. El menú optimizado tiene estos porcentajes dentro del rango adecuado cubriendo los requerimientos establecidos, con 15%, 25% y 60% para proteínas, lípidos y carbohidratos respectivamente.



**FIGURA 4.2 NIVEL DE MICRONUTRIENTES EN EL MENU**

Los valores de requerimientos de los micronutrientes fueron superados al optimizar el menú Mientras que en el menú modelo diseñado el porcentaje total de incremento de micronutrientes es del 36% en el menú modelo optimizado este incremento es de 51%.

En el menú modelo algunos valores de micronutrientes no llegaban al valor mínimo requerido pero fueron superados en la optimización. Por ejemplo, los requerimientos de Tiamina y Riboflavina son de 0,47 y 0,63 miligramos respectivamente; el menú modelo diseñado aporta con 0,34 mg. de Tiamina y 0,50 mg.

de Riboflavina pero, en el menú optimizado se obtienen 0,47 mg. de Tiamina y 0,76 mg. de Riboflavina.

Los resultados de los informes emitidos por "Solver" son valores para una porción individual ya que el modelo diseñado contiene los valores de costo por porción, por lo tanto, si se desea determinar el ahorro o disminución global de preparar el menú modelo para las ciento cuarenta personas, se deben multiplicar los valores por 140, obteniéndose en el cálculo, un ahorro diario de veintinueve mil doscientos quince sucres.

$$B = (M - O) \times C$$

Donde,

B = Beneficio económico, ahorro o disminución global

M = Costo menú modelo

O = Costo menú modelo optimizado

C = 140 personas

Reemplazando valores:

$$B = (S/.7278,86 - S/.6663,91) \times 140 = S/.86.093$$

#### **TABLA XIX**

**VALOR DEL MENU DIARIO PARA DIFERENTE NUMERO DE  
PERSONAS (19)**

Nº personas	Valor del menú	Valor del menú optimizado	Ahorro
1	\$ 7.279	\$ 6.664	\$ 615
140	\$ 1'019.040	\$ 932.948	\$ 86.093
300	\$ 2'183.658	\$ 1'999.173	\$ 184.485
400	\$ 2'911.544	\$ 2'665.564	\$ 245.980
500	\$ 3'639.430	\$ 3'331.955	\$ 307.475
560	\$ 4'076.162	\$ 3'731.790	\$ 344.372

Por cada porción del menú, compuesta por sopa, segundo y bebida, puede ahorrarse aproximadamente 615 sucres al día. A medida que se incrementa el número de porciones, el ahorro es más significativo. Si se elabora el menú modelo por ejemplo, para cuatro veces más el número de personas, es decir, para 560, se tiene que el ahorro obtenido al optimizar el menú es de \$ 344.372 (trescientos cuarenta y cuatro mil trescientos setenta y dos sucres) diarios.

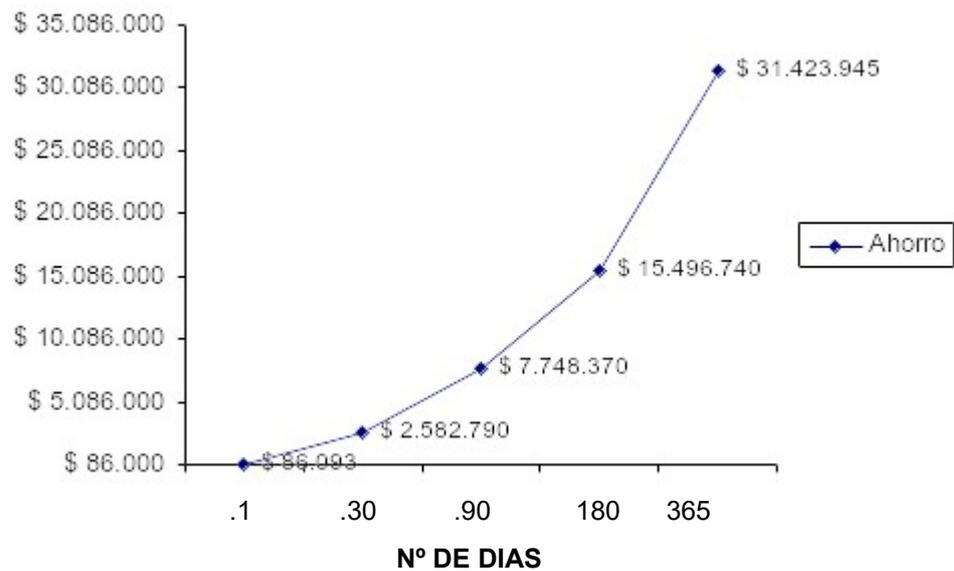
## TABLA XX

### AHORRO PRODUCIDO POR LA OPTIMIZACION DEL MENU (20)

Nº Días	Valor del menú*	Valor del menú optimizado*	Ahorro
1	\$ 1.019.040	\$ 932.948	\$ 86.093
30	\$ 30'571.212	\$ 27'988.422	\$ 2'582.790
90	\$ 91'713.636	\$ 83'965.266	\$ 7'748.370
180	\$ 183'427.272	\$ 167'930.532	\$ 15'496.740
365	\$ 371'949.746	\$ 340'525.801	\$ 31'423.945

\*Para 140 personas

El ahorro de ochenta y seis mil sucres obtenido en un día, puede multiplicarse hasta llegar a ser de treinta y un millones de sucres al año.



**FIGURA 4.3** BENEFICIO ECONOMICO DE LA OPTIMIZACION DEL MENU MODELO EN UN AÑO

La presentación de estos análisis ilustran el beneficio económico que representa diseñar y luego utilizar un modelo matemático para la optimización de un menú.

En la práctica real los comedores institucionales programan varios menús diferentes para un mínimo de 15 días que pueden ser optimizados obteniéndose un beneficio similar a la cantidad anual mostrada.

#### **Informe de sensibilidad**

Al haber seleccionado la opción “adoptar modelo lineal” escogiendo “Opciones” en el cuadro de diálogo de Solver (Anexo F), se genera la versión lineal del informe de sensibilidad.

El informe de sensibilidad da la posibilidad de valorar el impacto y la transformación que sufre la solución óptima alcanzada cuando se modifica la información original, pudiendo estructurarse una mejor alternativa de solución según cambian los requisitos o condiciones de los recursos.

Para cada celda cambiante y para cada restricción, el informe de sensibilidad aporta la siguiente información:

- Coeficiente objetivo
- Precio sombra
- Aumento permisible
- Restricción lado derecho
- Disminución permisible

Los valores de la columna del Coeficiente objetivo son los pertenecientes al costo por Kilo de cada producto para una sola persona. Por lo tanto, estos valores son los coeficientes de las variables de decisión del modelo matemático. Si multiplicamos cada uno de estos valores por el número total de personas que es ciento

cuarenta, obtendremos el costo por Kilogramo de producto para esa cantidad de comensales.

El aumento permisible indica la cantidad en la cual se puede aumentar un coeficiente de la función objetivo sin que la base actual cambie, es decir, sin que la solución deje de ser óptima. Similarmente, la disminución permisible indica la cantidad en la cual se puede disminuir el valor de un coeficiente de la función objetivo sin que afecte la solución óptima.

El aumento permisible para la variable de decisión "lentejas" es infinito y la disminución permisible tiene un valor de 108,11. Esto significa que la solución será óptima si el Coeficiente objetivo de esta variable o precio por Kilo de lentejas, 14.000 sucres, se encuentra entre los valores del aumento y la disminución permisibles y además los precios de los otros alimentos permanecen constantes.

$$140x(100 - 108,11) \leq \text{Coef. Obj.} \leq 140x(100 + 1E + 30)$$

$$-1135,4 \leq \text{Coef. Obj.} \leq \infty$$

El valor negativo del límite inferior debe corregirse colocando cero ya que los precios de los productos no pueden ser valores

negativos. Entonces, tenemos que el coeficiente objetivo puede tomar valores entre cero e infinito cuidando que el resto de alimentos mantengan sus precios.

En resumen, en el modelo lineal, los valores de las variables de decisión no van a cambiar mientras estén dentro del rango permitido de precios pero el valor de la función objetivo, es decir, el costo del menú si cambiará.

A menudo es importante determinar cómo un cambio en el lado derecho de una restricción cambia el valor óptimo de la función objetivo. Se define el precio sombra para la  $i$ -ésima restricción como la cantidad en la cual se mejora el valor óptimo de la función objetivo si el lado derecho de la restricción aumenta una unidad siempre y cuando el cambio en el lado derecho de la restricción no afecte la base óptima, es decir, que el valor del lado derecho esté entre los indicadores del Aumento permisible y la Disminución permisible. Si el signo del precio sombra es positivo indica que habrá un aumento en el valor óptimo y si es negativo habrá una disminución del mismo.

Es importante destacar que el nutriente “más caro” es la Tiamina, ya que un miligramo adicional del mismo hará que el costo del menú aumente en 1.950 sucres por porción.

La columna de Restricción lado derecho muestra los valores de las restricciones establecidas. Cuando la restricción pertenece a una celda que contiene una fórmula, el informe de sensibilidad presenta el valor cero en lugar del valor resultante de la fórmula que se observa en la hoja electrónica. De esta forma se puede determinar qué valores de restricción corresponden a fórmulas y cuáles a números digitados.

Por ejemplo una de las restricciones del peso de la porción de sopa indicaba que éste debía ser mayor o igual que 200 gramos por lo que el número 200 aparece en la columna Restricción lado derecho; en cambio, la restricción de cantidad de proteínas es una fórmula por lo que en la columna aparece el valor cero.

La columna de Aumento permisible para las restricciones muestra la cantidad en que puede aumentarse el valor de una restricción antes de que se produzca un aumento en el valor óptimo del menú. De la misma forma, la columna de Disminución permisible muestra

la cantidad en que se puede disminuir una restricción antes de cambiar la solución óptima.

Como lo vimos anteriormente, un miligramo adicional de Tiamina, que tiene un precio sombra de 1949,47 aumenta en esa cantidad el valor del costo del menú, cuando la cantidad de Tiamina está entre 0,048 y 0,47 miligramos permaneciendo constantes el resto de restricciones.

### **Informe de respuestas**

El informe de respuestas muestra por separado y en columnas, los resultados de las tres partes implícitas de que se compone el modelo matemático, siendo éstas:

- La celda objetivo introducida en el cuadro de diálogo de Solver
- Las celdas cambiantes o variables de decisión con su valor original y su valor final u óptimo y, por último
- La lista de las restricciones con el valor optimizado de la celda a la cual pertenece la restricción, la fórmula de cada restricción, el estado y la divergencia.

El estado de la restricción es obligatorio cuando el valor final de la celda es igual al valor del lado derecho de la restricción y por lo

tanto la divergencia es cero. Así mismo, el estado es opcional cuando el valor final de la celda no coincide con el del lado derecho de la restricción, entonces la columna de Divergencia toma un valor.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las necesidades nutricionales de la población ecuatoriana fueron establecidas en base a los requerimientos nutricionales publicados por la Food and Nutrition Board de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos.
2. El grupo objeto del estudio son las personas que realizan actividades dentro del Campus Gustavo Galindo, clasificándolas por sus actividades ocupacionales en estudiantes, personal docente y personal administrativo.
3. Se estimó que las necesidades energéticas del grupo objetivo estudiado son 2587,73 Kilocalorías diarias.
4. El 40% del total de las necesidades energéticas y de los requerimientos nutricionales establecidos son cubiertos por el menú modelo diseñado.
5. El menú modelo diseñado consta de: Sopa de zapallo, arroz con menestra y carne asada y bebida de avena con naranjillas por un valor de 1 '019.040 sucres ó 7279 sucres por porción con un aporte de 1070,71 Kilocalorías diarias.

6. El modelo matemático considera tres tipos de restricciones: nutricionales, del peso de cada uno de los componentes del menú y de las cantidades mínimas de los alimentos claves para conservar la identidad del menú diseñado.
7. La función objetivo representada por el modelo matemático diseñado es minimizar el costo del menú.
8. El modelo se soluciona utilizando una macro automática dentro del software Microsoft Excel de Windows.
9. En la optimización del menú se consideran solamente los costos de compra de la materia prima.
10. El modelo matemático diseñado permite obtener un menú a un costo de 932.948 sucres lo que representa un ahorro de 86.093 sucres ó del 8 % diario.
11. El modelo matemático optimizado en base a las restricciones escogidas garantiza una buena presentación así como una alimentación balanceada.

12. El menú modelo optimizado tiene mayor valor nutricional.
13. El beneficio económico producido por la optimización del menú diseñado para ciento cuarenta personas, puede llegar a multiplicarse hasta ser de treinta y un millones de sucres al año.
14. En la práctica, se programan diferentes menús para cada día para cubrir un período rotacional no menor de quince días.
15. El beneficio económico de la optimización puede incrementarse también al ensayar diferentes y variados menús, intercambiando los alimentos y sus cantidades según la formulación que tenga cada uno.
16. Por cada porción del menú, puede ahorrarse aproximadamente 210 sucres al día. A medida que se incrementa el número de porciones, el ahorro es más significativo.
17. Si se elabora el menú modelo para 560 personas, el ahorro obtenido al optimizar el menú es de \$ 344.372 (trescientos cuarenta y cuatro mil trescientos setenta y dos sucres) diarios.
18. El menú modelo optimizado cubre los requerimientos nutricionales y energéticos así como los de presentación al mínimo costo posible.

19. Es factible diseñar cualquier modelo de optimización de acuerdo a las necesidades de quien utilice el programa.
20. El operador del programa de optimización de menús debe tener conocimientos de Nutrición y de Programación Lineal.
21. Se recomienda restringir principalmente las cantidades de carne, arroz y lentejas si se quiere evitar el alto incremento en el costo del menú que provoca la incorporación de un miligramo adicional de Tiamina.
22. Los comedores pueden realizar varias combinaciones de menús optimizados y lograr una disminución significativa en sus costos.