

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS

**CARACTERIZACIÓN DE LOS EFECTOS DE MALNUTRICIÓN Y
DESNUTRICIÓN A NIVEL NACIONAL EN GRUPOS
INFANTILES VULNERABLES Y ASOCIACIÓN DE DIETAS
ADECUADAS MEDIANTE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN
MULTIPERODO ESTACIONALES.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS**

ADRIÁN EDUARDO SARANGO ONTANEDA

dampil.ad12@hotmail.com

Director: Dra. Sandra Elizabeth Gutiérrez Pombosa

sandra.gutierrez@epn.edu.ec

Octubre 2014

DECLARACIÓN

Yo, Adrián Eduardo Sarango Ontaneda, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Adrián Eduardo Sarango Ontaneda

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Adrián Eduardo Sarango Ontaneda, bajo mi supervisión.

Dra. Sandra Elizabeth Gutiérrez Pombosa

DIRECTORA

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, quien con su apoyo, amor, cariño y esfuerzo logró hacer de mí una persona de bien, te amo mami.

A Carlos y Sonia, por todos los consejos brindados y el ánimo en cada paso de mi vida.

Un agradecimiento muy especial a las Dras. Sandra Gutiérrez y María Fernanda Salazar, quienes con su apoyo guía y cariño hicieron posible la realización de este trabajo.

A mis amigos y compañeros de la universidad, por su apoyo y ánimos en los momentos difíciles.

A Gabriela, gracias por todo tu cariño y afecto y por estar siempre conmigo a pesar de todas las cosas buenas y malas que hemos vivido.

A Alexandra, mi amiga del alma, gracias por todo my best friend, te quiero mucho, eres una persona súper especial, nunca cambies.

DEDICATORIA

A Dios, que sin él nada es posible.

A mi madre, quién con todo su esfuerzo y amor me ha ayudado a salir adelante y ser una persona de bien.

A toda mi familia, quienes a pesar de vivir lejos me han brindado su cariño y apoyo incondicionales.

A mis amigos, los cuales nunca me dejaron solo y estuvieron conmigo en los mejores y peores momentos, gracias por su apoyo muchachos!!.

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE ANEXOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESNUTRICIÓN INFANTIL Y DESARROLLO ECONÓMICO	2
1.2 LA DESNUTRICIÓN EN ECUADOR.....	5
1.2.1 Clases de desnutrición	6
1.2.1.1 Desnutrición de primer grado o leve	6
1.2.1.2 Desnutrición de segundo grado o moderada.....	7
1.2.1.3 Desnutrición de tercer grado o crónica.....	7
1.2.2 Causas de la desnutrición	9
1.2.3 Tendencias positivas encaminadas a reducir la desnutrición	10
1.3 SELECCIÓN DEL CASO Y LUGAR PARA REALIZAR EL ESTUDIO.....	13
1.3.1 Centros Infantiles del Buen Vivir (CIBV).....	13
1.3.2 La alimentación y nutrición en los CIBV	15
1.3.2.1 Servicio alimentario-nutricional diario.....	16
1.3.2.2 Recomendaciones Nutricionales	16
1.3.2.3 Recomendaciones Alimentarias	16
1.3.2.4 Estado fisiológico del niño-niña	17
1.3.2.5 Presupuesto asignado por niña-niño y por día.....	18
1.3.2.6 Producción y disponibilidad de alimentos en el mercado y zonas geográficas cercanas.....	18
1.3.2.7 La inclusión de alimentos de temporada	19
1.3.2.8 Hábitos, costumbres y prácticas alimentarias.....	19
1.3.2.9 Disponibilidad de equipos y utensilios de cocina.....	19

1.3.2.10 Derivación de la alimentación para casos especiales (EDA, IRA, desnutrición)..	19
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 PROGRAMACIÓN LINEAL	23
2.1.1 Construcción de modelos de programación lineal.....	25
2.2 PROBLEMA DE LA DIETA DE STIGLER	28
2.3 TRABAJOS RELACIONADOS AL ESTUDIO PLANTEADO	30
2.3.1 Modelo de costo mínimo en Colombia.....	31
2.3.2 Modelo de costo mínimo para animales de granjas.....	31
2.4 SOFTWARE A UTILIZAR EN LA RESOLUCIÓN DEL MODELO	32
3. DESARROLLO Y FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.....	34
3.1 DIETAS PROPORCIONADAS ACTUALMENTE POR LOS CIBV	34
3.2 ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LAS DIETAS ACTUALES MANEJADAS POR LOS CIBV	38
3.2.1 Análisis de Macronutrientes	39
3.2.2 Análisis de micronutrientes	41
3.3 DATOS DE PRECIOS, PRODUCCIÓN Y ORIGEN DE LOS ALIMENTOS EN EL PAÍS.....	43
3.3.1 Análisis de estacionalidad de precios de los diferentes alimentos	45
3.4 CLASIFICACIÓN MULTIVARIANTE POR CONGLOMERADOS.....	49
3.4.1 Selección de variables	50
3.4.2 Elección de la medida de asociación	50
3.4.3 Elección de la técnica de conglomerado.....	50
3.4.3.1 Métodos jerárquicos	50
3.4.3.2 Métodos no jerárquicos o de partición	52
3.4.4 Interpretación y validación de resultados	53
3.5 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE LOS ALIMENTOS PROPORCIONADOS EN LOS CIBV.....	53
3.5.1 Requisitos previos al análisis por conglomerados.....	54
3.5.2 Etapas realizadas para efectuar la clasificación.....	58
3.5.2.1 Elección de variables	58
3.5.2.2 Medida de asociación de individuos.....	59
3.5.2.3 Método de construcción de conglomerados	59

3.5.2.4 Validación de resultados.....	62
3.6 FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIETAS.....	70
3.6.1 Definición de las variables de decisión y parámetros.....	71
3.6.2 Construcción de la función objetivo.....	72
3.6.3 Restricciones del modelo de programación lineal.....	72
3.7 AJUSTE Y ANÁLISIS DEL MODELO DE COSTO MÍNIMO.....	76
3.7.1 Restricciones de variedad.....	81
4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	86
4.1 RESUMEN MODELO FINAL DE COSTO MÍNIMO.....	86
4.2 VALIDACIÓN DEL MODELO DE COSTO MÍNIMO IMPLEMENTADO.....	90
4.2.1 Porciones de alimentos incluidas en la dieta.....	90
4.2.2 Análisis de macro y micro nutrientes y restricciones de balance.....	91
4.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES MODELOS PLANTEADOS.....	93
4.3.1 Descripción modelo real sin restricciones de variedad.....	94
4.3.2 Descripción modelo entero sin restricciones de variedad.....	95
4.3.3 Descripción modelo entero semanal sin variedad.....	95
4.3.4 Descripción modelo entero, semanal con variedad.....	96
4.3.5 Descripción modelo binario, semanal con restricciones de variedad.....	97
4.4 DIETAS ELABORADAS EN BASE AL MODELO DE COSTO MÍNIMO.....	99
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1 CONCLUSIONES.....	103
5.2 RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS.....	109
ANEXOS.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Causas y consecuencias de la desnutrición.....	4
Figura 1-2 Tasa de mortalidad infantil en Ecuador período 2000 – 2012.....	8
Figura 2-1 Proceso para la toma de decisiones utilizando programación lineal	25
Figura 3-1 Serie de precios Arveja tierna para 6 ciudades.....	46
Figura 3-2 Serie de precios Cebolla Blanca para 6 ciudades	47
Figura 3-3 Serie de precio ajo para 6 ciudades.....	48
Figura 3-4 Ejemplo de dendograma	52
Figura 3-5 Valores atípicos de la variable calorías	55
Figura 3-6 Valores atípicos de la variable proteínas	56
Figura 3-7 Transformación raíz cuadrada para 3 variables	57
Figura 3-8 Dendograma y clasificación de los diferentes alimentos.....	61
Figura 3-9 Prueba M de Box de igualdad de matrices	64
Figura 3-10 Dendograma y clasificación sin la variable caroteno	67
Figura 2-2 Espacio de soluciones factibles de un modelo de programación lineal.....	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1 Grupos de alimentos recomendados para niños menores de 3 años	17
Tabla 2-1 Nutrientes en la dieta de Stigler	29
Tabla 2-2 Solución del modelo de la dieta de Stigler	30
Tabla 3-1 Ficha de tiempos y tipos de comida en los CIBV	36
Tabla 3-2 Porción de alimento según la preparación.....	37
Tabla 3-3 Composición de macronutrientes del menú de un día en el CIBV	39
Tabla 3-4 Aporte calórico e intervalos recomendados de macronutrientes.....	40
Tabla 3-5 Recomendaciones de micronutrientes para edades de 1 a 3 años	41
Tabla 3-6 Composición de micronutrientes del menú en un día del CIBV	42
Tabla 3-7 Transformaciones de la escalera de Tukey para corregir la asimetría	54
Tabla 3-8 Estadísticos descriptivos de las variables de los alimentos.....	55
Tabla 3-9 Resumen previo al análisis por conglomerados	60
Tabla 3-10 Prueba de igualdad de medias de grupos para las variables.....	64
Tabla 3-11 Prueba de significación para los ejes discriminantes	65
Tabla 3-12 Coeficientes de las funciones discriminantes.....	65
Tabla 3-13 Resumen sin la variable caroteno	66
Tabla 3-14 Prueba M de Box sin la variable caroteno.....	68
Tabla 3-15 Prueba de significación ejes discriminantes sin caroteno	69
Tabla 3-16 Coeficientes de las funciones discriminantes sin caroteno	69
Tabla 3-17 Solución real modelo costo mínimo.....	76
Tabla 3-18 Solución entera modelo costo mínimo	77
Tabla 3-19 Dieta semanal entera	80
Tabla 3-20 Solución entera incluyendo restricciones de variedad	83
Tabla 4-1 Solución de la formulación del modelo final	90
Tabla 4-2 Aporte macronutrientes de la solución óptima.....	92
Tabla 4-3 Aporte de micronutrientes de la solución óptima.....	93
Tabla 4-4 Precios diarios y promedio de la solución óptima	93
Tabla 4-5 Resumen de las características de los modelos y sus soluciones	98
Tabla 4-6 Menú propuesto para 1 semana de comidas en los CIBV	100
Tabla 4-7 Precio promedio de una dieta en un día	101

Tabla 4-8 Aporte de macronutrientes a calorías por día.....	101
Tabla 4-9 Aportes de micronutrientes e intervalos recomendados por día	102

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 Alimentos utilizados en la investigación.....	112
ANEXO 2 Métodos de solución de modelos de programación lineal	113
ANEXO 3 Ficha de seguimiento en los CIBV	117
ANEXO 4 Solicitud de información a la Subsecretaria de Desarrollo Infantil	120
ANEXO 5 Carta recibida de parte de la Subsecretaria con información de CIBV.....	121
ANEXO 6 Grupos de alimentos clasificados mediante el análisis por conglomerados. ..	122
ANEXO 7 Formulación y datos de modelos implementados.	122
ANEXO 8 Resultados del análisis por conglomerados.....	123
ANEXO 9 Datos de producción de los alimentos.....	123
ANEXO 10 Análisis de dietas de la parroquia de Tanicuchi.....	123
ANEXO 11 Series de precios de alimentos	123

RESUMEN

Este proyecto de titulación estudia el caso de las guarderías del gobierno en Ecuador, que proporcionan el 70% de los nutrientes diarios necesarios para los niños de 1-3 años de edad. En primer lugar, se presenta un análisis de los precios de los alimentos en dos regiones geográficas del país. Posteriormente, se discute una evaluación nutricional de las dietas actuales que se sirven en los centros de atención diurna. Con el fin de ofrecer variedad a la dieta sugerida por el modelo, se formulará una versión lineal del programa entero de la Dieta de Stigler en el que se tiene en cuenta no sólo la satisfacción de los límites inferiores o superiores de nutrientes, sino también su consumo equilibrado. Por último, se presenta un análisis de los resultados computacionales y conclusiones para el problema.

Palabras clave: Problema de Stigler. Programa lineal entero

ABSTRACT

This thesis study the case of government day-care centers in Ecuador, which provide 70% of daily required nutrients to 1-3 year-old children. First, we present an analysis of prices of food in two geographical regions of the country. Afterwards, we discuss a nutritional evaluation of current diets served at day-care centers. In order to provide variety to the diet suggested by the model, we have formulated an integer linear program version of the Stigler's Diet Problem in which we take into account not only the satisfaction of lower or upper bounds of nutrients but also their balanced intake. Finally, we present an analysis of computational results and conclusions for the problem.

Keywords: Stigler's Problem. Integer Linear Program.

1. INTRODUCCIÓN

La malnutrición en Ecuador ha sido uno de los principales problemas que ha aquejado a la mayoría de la población siendo una de las causas de los bajos niveles de desarrollo económico que presenta nuestro país. Esto en motivo de que una inadecuada e insuficiente (o excesiva) ingesta de alimentos en la población infantil repercute significativamente en el rendimiento tanto físico como intelectual de los niños provocando en muchos casos graves conflictos de salud e inclusive la muerte. La malnutrición se puede presentar de dos tipos, los que llevan a la desnutrición que se caracteriza por un déficit de nutrientes permanente, y los que llevan a la obesidad debido a un exceso de nutrientes no recomendables. En sí, todos los casos de desnutrición pueden ser incluidos dentro del grupo de malnutrición, pues en ambos se presenta una inadecuada ingesta de nutrientes, sin embargo se analizará únicamente la malnutrición por desnutrición que es el principal problema que aqueja a las sociedades en vías de desarrollo.

Este fenómeno se presenta en nuestro país debido a los considerables niveles de pobreza que se dan sobre todo en las poblaciones rurales, en donde las pocas oportunidades de empleo y los deficientes niveles de escolaridad generan bajos ingresos, los cuales no permiten que sus habitantes se alimenten de forma adecuada, para desencadenarse finalmente en las anomalías anteriormente descritas. Adicionalmente y según un estudio realizado por el Ministerio Coordinador del Desarrollo Social (MCDS), el Programa Mundial Alimentación (PMA) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), se concluyó que en Ecuador el costo total de la desnutrición al 2005 alcanzaba 1.236,5 millones de dólares, es decir, el 3,4% del PIB [1]. Las secuelas que ha dejado la desnutrición según la Primera Encuesta de la Niñez y Adolescencia de la sociedad civil (2010) han sido notables, como ejemplo tenemos que dos de cada cinco ecuatorianos menores de cinco años no crecieron lo suficiente para su edad. Este fenómeno de bajo crecimiento puede presentarse por diferentes factores como: enfermedad crónica, trastornos endócrinos, salud emocional,

infección, desnutrición. En el último caso, la desnutrición puede generar bajos niveles de escolaridad debido a que los infantes pueden tardar más en aprender a hablar y escribir, presentar problemas de concentración y atención, dificultades en la coordinación psicomotora, etc.

Los esfuerzos durante los últimos 24 años para combatir estos desórdenes nutricionales, tales como la inclusión de programas de alimentación complementaria para la primera infancia y los programas a las madres en periodo de lactancia que, conjuntamente con mejoras en el acceso al agua, saneamiento, y a la calidad de las viviendas a lo largo de las dos últimas décadas, han incidido en que la desnutrición disminuya en un 16% aproximadamente [1]. A pesar de ello, Ecuador mantiene una prevalencia más elevada que el promedio de los países de la región latinoamericana y caribeña, ya que en Ecuador para el año 2011 la desnutrición crónica alcanzaba una tasa de 25.3 puntos porcentuales, comparado con el promedio de la región que es del 14% [2]. Por este motivo es necesario trabajar y buscar nuevas formas de combatir este silencioso problema que actualmente continúa repercutiendo en el desarrollo tanto social como económico de nuestra nación.

1.1 DESNUTRICIÓN INFANTIL Y DESARROLLO ECONÓMICO

Existen sin duda muchos factores que inciden en que una sociedad sea caracterizada como desarrollada o subdesarrollada, muchas veces se confunde lo que es crecimiento económico con desarrollo económico, mostrándolos como conceptos similares o iguales, lo cual no ocurre realmente pues únicamente existen ciertos lazos que permiten una “vinculación” entre ellos sin que llegue a significar igualdad entre los mismos. El crecimiento económico está determinado mediante la producción de bienes y servicios de demanda final de un país en un periodo de tiempo, el mismo que se mide a través del crecimiento o decrecimiento (según sea el caso) del Producto Interno Bruto (PIB) [3]. Este incremento de producción es uno de los objetivos de la política económica, que indica si ésta se maneja de manera adecuada y si su aplicación es positiva.

En contraparte, el desarrollo económico se encuentra determinado por la capacidad de un país para generar bienestar, tanto social como económico para todos sus habitantes. Si bien es cierto para ello se necesita de que haya un crecimiento económico sostenido que permita generar las condiciones de bienestar a la población, éste crecimiento no es una condición suficiente, pues si el aumento de productividad se concentra en un solo grupo de poder y no se redistribuye para mejorar la calidad de vida de las personas de determinada sociedad, claramente se puede ver que no está totalmente determinado el desarrollo de un país por el crecimiento de una única variable como lo es el PIB.

De lo anterior se puede considerar que, para poder caracterizar a una economía como desarrollada o no desarrollada es necesario incluir en el análisis algunos factores de carácter estructural (económicos, políticas sociales e interinstitucionales) que permitan dar cuenta de la realidad de una sociedad específica. Entre los principales factores que determinan el nivel y la calidad de vida se encuentran: la alimentación, la salud, educación, vivienda y el acceso a los servicios básicos (agua potable, electricidad, telefonía, etc.) [4]. La alimentación y la salud sin duda son factores muy importantes en una nación pues si la población no tiene el acceso adecuado y suficiente a estos servicios no podrá desarrollar normalmente sus actividades productivas, impidiendo con ello el crecimiento económico y dando hincapié a que no se pueda hablar de mejora en las condiciones de vida de las personas (desarrollo económico).

Una inadecuada alimentación, principalmente en los primeros años de vida de una persona puede generar efectos muy severos y enfermedades asociadas que pueden llegar inclusive a causar la muerte de los infantes. La malnutrición y desnutrición infantil son algunas de las principales enfermedades que aquejan a los países de América Latina, los cuales se caracterizan por ser en su mayoría subdesarrollados o en vías de desarrollo.

Según la opinión técnica de investigadores de la CEPAL encargados de la División de Desarrollo Social (Rodrigo Martínez, Andrés Fernández, entre otros) [5] mismos que han resaltado las graves consecuencias individuales y colectivas de una mala ingesta de alimentos, el tener a una población que no cuente con la

alimentación suficiente para cubrir sus necesidades de desarrollo físico, intelectual y emocional, puede ocasionar menores logros y mayores costos en salud, productividad y educación [6].

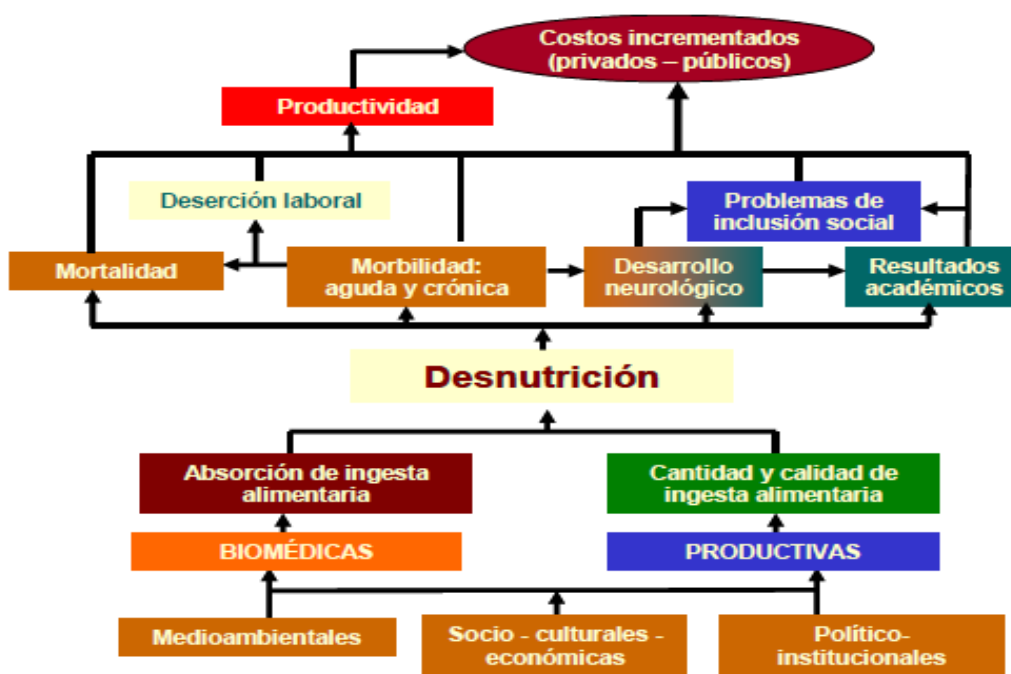


Figura 1-1 Causas y consecuencias de la desnutrición

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) - 2007

En el aspecto económico los efectos de la desnutrición se presentan en forma negativa en la población económicamente activa al analizar su productividad, comparada con aquellos que no presentan esta característica. Las consecuencias de lo anterior no se hacen esperar, pues se generan mayores problemas de inserción social e incrementos de la pobreza e indigencia de las personas, aumentando la vulnerabilidad a la desnutrición mientras se continúa reproduciendo este círculo vicioso.

Uno de los efectos de la desnutrición es la pérdida de capital humano, ya que los países pueden perder productividad por la menor calificación que alcanzan los habitantes que de alguna forma sobrevivieron a la desnutrición infantil. Esto debido a que el desempeño escolar es mucho menor en los niños afectados por desnutrición a temprana edad en relación con los no desnutridos, lo cual conlleva a una mayor deserción del sistema educativo, limitando su capacidad productiva y en un futuro restringiendo sus ingresos potenciales.

Si se analiza la mortalidad por desnutrición se puede dar cuenta que ésta puede generar una pérdida económica directa para la sociedad, pues los niños que fallecieron por desnutrición no llegan a edad productiva limitando de esta forma que la población en edad de trabajar (PET) y la población económicamente activa (PEA) tenga una tendencia creciente en el tiempo

Los costos en productividad corresponden al valor económico que tienen las horas de trabajo que se pierden por mortalidad y a los bajos niveles de escolaridad que pueden alcanzar los infantes.

El problema para el caso de América Latina surge principalmente como reflejo de las inequidades que existen en el ingreso y sobretodo en baja la importancia que los temas de alimentación y nutrición han tenido en la agenda política de los países (no siendo las únicas razones). Se han realizado muchos estudios por parte de la CEPAL y el Programa Mundial de Alimentos (PMA) [7], los cuales han resaltado la necesidad de dar cuenta del flagelo del hambre asociado con la desnutrición, y de la importancia de encontrar nuevas formas de erradicar estos males, en donde la responsabilidad no recae únicamente sobre los gobiernos nacionales sino que también al ser un problema social se requiere del compromiso de todos los actores que se encuentran involucrados, es decir la sociedad en su conjunto.

Como punto final, y tomando como referencia las experiencias internacionales, se puede concluir que es mucho más económico realizar una inversión para erradicar la desnutrición a tener que sufrir las consecuencias sociales y económicas que ella las produce, con su respectivo costo asociado.

1.2 LA DESNUTRICIÓN EN ECUADOR

En el contexto de una economía en vías de desarrollo como lo es la nuestra inciden muchos factores los cuales no han permitido en las últimas décadas que Ecuador alcance un nivel adecuado de desarrollo, mismo que permita mejorar la calidad de vida de toda la sociedad. Los problemas de malnutrición y desnutrición, como se indicó anteriormente, tienen graves consecuencias a largo plazo. El estado de nutrición nos puede servir como un indicador de desarrollo de un país,

ya que podría reflejar el potencial productivo de la población económicamente activa y la capacidad del aparato productivo nacional para producir alimentos que satisfagan los requerimientos nutricionales de todas las personas a todo nivel. Es por ello que para nuestro país la producción de alimentos, el rendimiento de los principales productos de consumo y la relación de estos con los mercados, son de suma importancia para establecer el potencial que la seguridad alimentaria y nutricional ofrece a la sociedad ecuatoriana la cual pueda servir como una alternativa de desarrollo.

El problema se agrava cuando se analizan a los sectores vulnerables de la economía ecuatoriana caracterizados por sus bajos niveles de pobreza, educación y acceso a la salud, la indigencia, la mortalidad infantil y el analfabetismo. Dentro de ellos el más afectado es la población infantil comprendida entre los primeros años de edad (de uno a cinco años), pues durante estos años se presentan algunas consideraciones que lo caracterizan como un periodo crítico, mismo que nos indica la alta vulnerabilidad de los infantes a contraer este tipo de enfermedades.

En este punto es importante diferenciar los tipos de desnutrición que existen pues de acuerdo al nivel que se presente, se podrá prever sus posibles consecuencias.

1.2.1 CLASES DE DESNUTRICIÓN

Según la clasificación del doctor mexicano Federico Gómez realizada en el año de 1951 [8], quien fue pionero en el estudio de la desnutrición señala que a ésta se la puede denotar como leve, moderada y crónica.

1.2.1.1 Desnutrición de primer grado o leve

Aunque en la mayoría de casos el organismo del infante se adapta a la falta de nutrientes, el signo más relevante que se puede notar es la pérdida de peso (sin embargo a simple vista no es observable). Lo anterior se puede explicar de dos formas, la primera es que en el infante su peso ha disminuido un poco o se ha mantenido en un mismo nivel entre las cuatro últimas semanas, lo cual no

coincide con un período caracterizado por un crecimiento constante. Adicionalmente el niño se muestra descontento y un poco molesto en cuanto a llantos, aunque aún conserva la capacidad de defensa de su organismo.

1.2.1.2 Desnutrición de segundo grado o moderada

Los principales síntomas de este tipo de desnutrición que se presentan en general son, la pérdida de peso entre el 30 y 40 por ciento de lo que realmente debería pesar el infante para su edad y talla, el hundimiento de sus ojos, disminución del tejido corporal. Se halla muy irritable y se encuentra muy propenso a contraer infecciones como diarrea, gripe entre otras.

1.2.1.3 Desnutrición de tercer grado o crónica

En esta etapa la pérdida de peso del niño es mucho más notable pues supera el 45 por ciento del estándar para su edad y talla. Se agravan los síntomas mencionados en casos anteriores y se da un desequilibrio anabólico el cual impide que se aprovechen de manera correcta las cantidades mínimas de nutrientes.

Además a todo lo anterior, la cara del infante se hace pequeña, los huesos del rostro se hacen prominentes, las extremidades superiores cuelgan de su cuerpo, sus piernas se hinchan y la contextura de la piel es de tipo escamosa y arrugada. Otros síntomas son la presencia de problemas digestivos e infecciones que provocan vómitos muy fácilmente; en conclusión, el cuerpo se encuentra en malas condiciones, hay balances negativos a nivel orgánico que se van agravando debido a los problemas infecciosos y digestivos que inclusive pueden llegar a causar la muerte.

Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del Ecuador (ENSANUT - ECU), la cual fue realizada durante los años 2011-2013 reveló que la desnutrición crónica ha disminuido modestamente, pasando del 40.2% en 1986 al 25.3% en el año 2012. En cuanto a la desnutrición aguda durante el mismo período no se muestran variaciones significativas manteniéndose esta tasa entre el 2.1% y

2.4%. Finalmente en relación a la desnutrición leve, ésta ha disminuido en 6.4 puntos porcentuales entre 1986 y 2012 [2].

Si analizamos la tasa de mortalidad infantil de nuestro país en los últimos años, se puede ver que se han presentado reducciones, sin embargo en las dos últimas décadas se registraron un poco más de 3000 muertes de niños y niñas menores de 1 año de edad por desnutrición.

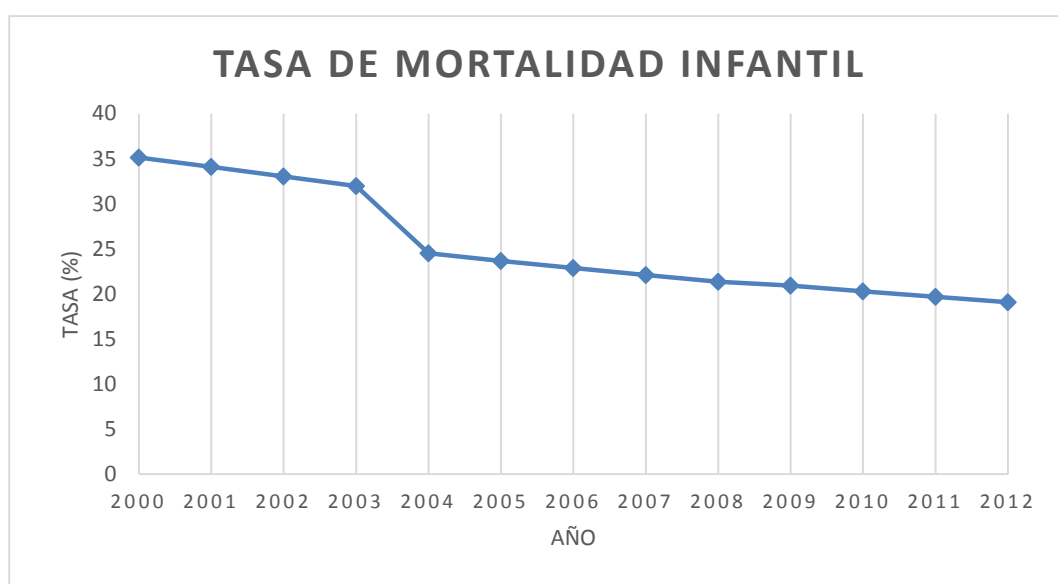


Figura 1-2 Tasa de mortalidad infantil en Ecuador período 2000 – 2012

Fuente Indexmundi

En el gráfico anterior podemos observar cómo ha ido disminuyendo la tasa de mortalidad infantil en el período indicado, lo cual nos puede dar indicios que la desnutrición ha decrecido, sin embargo, el problema de la desnutrición crónica en la última década continúa siendo una de las principales preocupaciones, teniendo una mayor concentración en las regiones andina y amazónica ya que estas regiones se caracterizan por poseer una gran cantidad de población indígena y rural siendo éstos los grupos de habitantes más vulnerables de nuestro país.

Es así que la provincia con mayor prevalencia de la desnutrición crónica en el año 2010 es Chimborazo, en donde el 53% de sus niños y niñas se les encontró este

problema, más del doble de lo que se registró en la provincia del El Oro donde fue del 15% siendo esta provincia la de menor prevalencia en desnutrición. Igualmente más del 40% de infantes que presentan retraso en la talla para su edad se encuentran localizados en las provincias más pobladas del país (Guayas, Pichincha y Manabí), lo que nos puede dar cuenta que las políticas sociales aplicadas deben emplearse en mejor forma y así llegar verdaderamente a explicar la realidad que viven muchos niños en el Ecuador [1].

1.2.2 CAUSAS DE LA DESNUTRICIÓN

Las causas de la desnutrición en nuestro país son muy variadas, mismas que no han permitido que todos los esfuerzos realizados para detener esta enfermedad hayan podido disminuir considerablemente los índices de desnutrición, los más destacados se describen a continuación:

- Disminución de la lactancia materna exclusiva. Relacionado con la incorporación de las mujeres en el mercado laboral lo cual da cuenta de las deficiencias en las condiciones laborales que no permite que las madres trabajadoras puedan ejercer su derecho a la lactancia, exponiendo a los infantes a ingerir otros alimentos que no cubren las necesidades de nutrientes que son necesarios para su buen crecimiento.
- Los riesgos de contraer enfermedades gastrointestinales continúan latentes en la actualidad. En realidad los programas de educación para evitar muertes por estas enfermedades, asociados con un mayor acceso a la salud lograron reducir las muertes de los niños, éstas se mantienen dentro de las tres primeras causas de morbilidad de los menores de 6 años desde 1999.
- Otra cuestión a tomar en cuenta en el lento descenso de la desnutrición se da por el estancamiento de la proporción de niños que nacen con bajo peso, esto puede ser prevenido si se realizan controles prenatales de

manera periódica, sin embargo el acceso a los mismo no ha sido eficiente lo que nos indica nuevamente las falencias que tiene el sistema de salud.

1.2.3 TENDENCIAS POSITIVAS ENCAMINADAS A REDUCIR LA DESNUTRICIÓN

En los últimos 20 años se han realizado algunas acciones encaminadas a proteger a la población infantil de la desnutrición crónica, entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- La cobertura de los planes de alimentación complementaria para la primera infancia y los programas para a las madres en periodo de lactancia se incrementó y focalizó en la población pobre.
- Se realizaron mejoras en el acceso al agua, saneamiento y a la calidad de las viviendas en los sectores rurales. Por ejemplo el porcentaje de niños y niñas habitando viviendas con piso de tierra se redujo a más de la mitad, esto es, del 22% al 11%, y el porcentaje de viviendas con acceso a agua y saneamiento se duplico en los últimos 20 años [1].
- De igual forma el mejoramiento de la capacidad adquisitiva de los hogares aumento en casi el 50%, de manera similar, el porcentaje de hogares en pobreza extrema se redujo casi a la tercera parte.

Es importante destacar que durante los años 2000-2003 el decrecimiento de los índices de desnutrición no siguió el mismo ritmo en los años subsiguientes, pues entre el 2004 y 2006 (años de importante crecimiento económico para el país), los cambios fueron casi imperceptibles siendo solo hasta el año 2012 que volvió a decrecer ligeramente la desnutrición para ubicarse en el 25.3% [9].

Los estudios para este tipo de enfermedades han sido limitados (debido a la falta de encuestas a nivel nacional), sin embargo, se puede indicar que para el año 2006 los niños y niñas más pobres y aquellos que pertenecían a un hogar indígena mostraron un predominio más elevado en cuanto a desnutrición: 40% y

51% respectivamente. Estos números muestran que estos grupos sociales históricamente han sido excluidos, lo que no les ha permitido alcanzar mayores probabilidades de poder revertir su situación conforme el paso de los años.

A pesar de lo que se ha venido realizando en las últimas décadas y de una considerable reducción de esta enfermedad en los infantes (aproximadamente el 16%), nuestro país debe dedicar esfuerzos adicionales y mucho más intensos a abordar este mal sigiloso.

Las políticas a aplicarse para combatir esta enfermedad actualmente están siendo implementadas, sin embargo, éstas deberán incluir adicionalmente el desarrollo de estrategias multisectoriales (las cuales requieren de mejor coordinación y evaluación) en donde intervengan varios ministerios, se coordinen y evalúen adecuadamente y se incluyan aspectos legales relevantes como por ejemplo la aprobación de la Ley Orgánica de Soberanía Alimentaria. Esta ley deberá establecer los mecanismos que permitan al estado garantizar la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y acordes con las diferencias culturales de nuestro país de forma permanente.

En la actualidad se llevan a cabo algunos programas de ayuda a los infantes, entre ellos se encuentra **Acción Nutrición** [10]. Este programa empezó en el año 2009 y cuenta con la colaboración de los ministerios del sector social tales como el de Salud, Inclusión Económica y Social, Educación, Agricultura y Vivienda. El principal objetivo es mejorar la situación de salud y nutrición de la población teniendo énfasis en los niños menores a cinco años. Esta propuesta interviene en 27 cantones, en donde la tasa de desnutrición crónica infantil es la más alta con respecto al resto del país. La meta principal es eliminar la desnutrición crónica en niños y niñas hasta el año 2015.

Los **Centros Infantiles del Buen Vivir** (CIBV) son otro importante programa que se encuentra a cargo de Ministerio de Inclusión Económica y Social y del Instituto Nacional de Economía Popular y Solidaria (IEPS). Estos centros están operando ya durante algunos años continuando con su expansión por todas las provincias y

cantones del territorio ecuatoriano. Su objetivo es contribuir al mejoramiento de los niveles de desarrollo de los niños menores de cinco años de edad cuyas familias están en condiciones de pobreza y extrema pobreza.

Son centros comunitarios pues contemplan la participación activa de los padres y madres de familia, de los dirigentes, líderes y demás miembros de la comunidad. Su propósito es lograr una mejor calidad de vida para los niños y consecuentemente para sus respectivas familias. En el país existen alrededor de 3900 CIBV que están distribuidos en la mayoría de provincias, los cuales aparte de brindar alimentación diaria provee servicios de educación, atención psicológica, atención médica y estimulación temprana (dependiendo de la edad de los niños) de manera gratuita

Los programas mencionados anteriormente están enfocados a disminuir la desnutrición en los niños, ya que es uno de los factores de importancia que incide directamente en la calidad de vida y desarrollo de la población de un país. Por esta razón se ha planteado un estudio mediante el cual se logre colaborar en el alto impacto que tiene esta enfermedad en los infantes, principalmente en los primeros años de vida en donde son más vulnerables a contraer la desnutrición. Esto se lo realizará mediante la implementación de dietas adecuadas para el grupo de edad en estudio, en las cuales se incluya todos los nutrientes necesarios para su correcto desarrollo y a su vez se pueda minimizar el costo de cada dieta, siendo este un factor preponderante al momento de realizar la compra de alimentos para realizar las distintas preparaciones.

En los siguientes párrafos se desarrollará el estudio para determinar los requerimientos adecuados para los infantes en edades entre 1 y 3 años que asisten a los CIBV, los cuales se encuentran bajo la supervisión de la Subsecretaría de Desarrollo Infantil Integral del MIES.

1.3 SELECCIÓN DEL CASO Y LUGAR PARA REALIZAR EL ESTUDIO

Como se indicó en párrafos anteriores, la desnutrición ataca en mayor proporción a la población pobre de origen indígena, en donde las madres no cuentan con nivel educacional adecuado sumándose a esto el no tener acceso a agua potable y saneamiento. La mayor prevalencia está en las zonas rurales, sin embargo los sectores marginales de las grandes ciudades concentran grandes cantidades de familias afectadas [11].

Es por ello que el Gobierno Nacional preocupado por la salud y el correcto desarrollo de estos grupos poblacionales considerados como vulnerables y enmarcados dentro del Plan Nacional del Buen Vivir, inició en el año 2008 la construcción de los Centros Infantiles del Buen Vivir.

1.3.1 CENTROS INFANTILES DEL BUEN VIVIR (CIBV)

Los centros infantiles son servicios de desarrollo integral, los mismos que son administrados por el Ministerio de Inclusión Económica y Social, que atienden a niños y niñas menores de tres años de edad. Se prioriza la atención de la población infantil cuyas familias se encuentran en condición de pobreza y extrema pobreza o en alguna situación de vulnerabilidad. En esta modalidad la atención se realiza a través de un equipo profesional, que labora para satisfacer las necesidades formativas de las niñas y niños y para atenuar la carga laboral de su madre, padre o cuidador.

Los CIBV fortalecen su gestión mediante su articulación con las unidades de atención primaria de salud del Ministerio de Salud Pública, los programas de refuerzo nutricional y la lactancia materna, y con las instituciones encargadas de otros aspectos del desarrollo infantil integral a nivel territorial.

Su implementación se dio debido a las alarmantes cifras que dejaron las investigaciones realizadas mediante la Encuesta de Condiciones de Vida (ECV) en los años 2005 – 2006, en donde la tasa de desnutrición crónica a nivel nacional para los niños menores a 5 años de edad era de 25.8%, la tasa de

desnutrición grave del 6.7%. Con respecto a la desnutrición aguda, ésta tenía un valor del 2.1% de total de la población en análisis.

Con base en estos antecedentes se planteó crear estos centros en pro de mejorar las condiciones de salud y alimentación de la población infantil.

La modalidad de atención de estos Centros Infantiles del Buen Vivir es la siguiente: se acoge a niños, niñas, familias y comunidad durante 5 días a la semana, en jornadas diarias de 6 a 8 horas.

En el caso que se requiera cambios en el horario de atención, la entidad ejecutora conjuntamente con la comunidad y personal técnico del MIES-INFA, viabilizará los mismos para responder a la realidad de la zona, con los correspondientes arreglos administrativos necesarios.

Cada Centro Infantil tiene el siguiente equipo comunitario:

- 1 Coordinadora por cada Centro Infantil que es la encargada de administrar y organizar todo lo que se realiza en el CIBV.
- 1 Promotora encargada del cuidado, por cada 10 niños y niñas.
- 1 Promotora encargada de la preparación de alimentos, por cada 20 niños y niñas.

La organización interna del Centro Infantil se la realizará previo análisis de la cantidad de niños y niñas inscritos por cada grupo de edad. En los grupos de los niños y niñas lactantes debe considerar que debido a las características y necesidades de los mismos, una promotora no puede atender más de ocho niños y niñas. En el resto de grupos, una promotora deberá atender un máximo 12 niños y niñas.

En la actualidad existen aproximadamente 3900 CIBV a nivel nacional, los cuales para lograr el desarrollo integral de los infantes unifican los factores tales como son la salud, nutrición, un ambiente adecuado, cuidado diario, recreación, educación, formación de las familiar entre los principales. En este caso se enfocará únicamente en el servicio de alimentación y nutrición que ofrecen los CIBV, pues es el objeto de la investigación.

1.3.2 LA ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN EN LOS CIBV

Una de las principales facilidades que se brinda a los niños en estos centros de desarrollo es la alimentación. El objetivo del componente alimentario-nutricional del MIES para los servicios de desarrollo infantil en los CIBV, donde asisten diariamente niños y niñas menores de cinco años en situación de pobreza y extrema pobreza, es garantizar el aporte del 70% de sus necesidades nutricionales diarias en calorías totales, según su edad, estado de salud y estado nutricional y la socialización de conocimientos en alimentación y nutrición infantil para fortalecer y/o cambiar hábitos alimentarios en las familias de los niños y niñas, y mediante ello contribuir al crecimiento y desarrollo adecuado.

Para ello se les entrega los alimentos en 4 ingestas diarias, considerándose algunos aspectos importantes como:

- Servicio alimentario-nutricional diario
- Necesidades nutricionales de los niños y niñas
- Recomendaciones alimentarias por grupos de alimentos
- Estado fisiológico del niño-niña
- Presupuesto asignado por niño-niña por día
- Producción y disponibilidad de alimentos en el mercado y zonas geográficas cercanas
- Alimentos de temporada
- Hábitos, costumbres y prácticas alimentarias
- Disponibilidad de equipos y menaje de cocina
- Derivación de la alimentación en casos especiales (desnutrición, enfermedades diarreicas agudas e infecciones respiratorias agudas, entre otras)

A continuación se describirá brevemente cada uno de los puntos mencionados con anterioridad, para poder tener en claro como es el servicio de alimentación que prestan los CIBV

1.3.2.1 Servicio alimentario-nutricional diario

Uno de los objetivos de la asistencia alimentaria es mantener y/o mejorar el estado nutricional de la persona que se encuentra en situación de inseguridad alimentaria (en este caso los niños que asisten a los CIBV).

El MIES al ejecutar la modalidad de Centros Infantiles del Buen Vivir (CIBV), donde brinda atención diaria de lunes a viernes de 8 am a 16 pm a niñas y niños menores de tres años en situación de pobreza y extrema pobreza, entregando asistencia alimentaria permanente a través de 4 tiempos de comida: desayuno, media mañana, almuerzo y media tarde, contribuyendo de esta manera al consumo de una alimentación saludable que conlleve a mantener y/o mejorar su estado nutricional.

1.3.2.2 Recomendaciones Nutricionales

El MIES INFA determina que el aporte calórico de la asistencia alimentaria que reciben los niños y niñas en las unidades CIBV es del 70% (1040 kilocalorías) y con la corresponsabilidad de la familia para entregar el 30% y cubrir el 100%.

Las necesidades diarias de los macro nutrientes según el aporte calórico de la asistencia alimentaria se establecen según la siguiente distribución porcentual:

Proteínas:	12 al 15%	161.3 cal	(39.0 gramos)
Grasas	25 al 30%	268.8 cal	(29.0 gramos)
Carbohidratos	55 al 60%	645 cal	(156.0 gramos)

Las recomendaciones nutricionales se cumplen a través de la entrega de 4 tiempos de comida: desayuno, media mañana, almuerzo y media tarde.

1.3.2.3 Recomendaciones Alimentarias

Se establecen recomendaciones alimentarias generales para menores de 3 años que faciliten cumplir con el aporte calórico de la asistencia alimentaria nutricional, según el siguiente detalle por grupos de alimentos:

Grupo de alimentos	Frecuencia	Recomendaciones
Leche	diaria	Al menos un vaso al día de preferencia desayuno , o remplazar por yogurt
Queso	dos o tres veces a la semana	Una taja mediana
Huevo	dos a tres veces por semana	En desayuno, refrigerio o acompañado del plato fuerte
Pollo, carne roja, pescado	Tres veces por semana	En sopas o formando parte del plato fuerte o segundo
Verduras, hortalizas	diaria	Al menos dos o tres tipos al día en ensaladas crudas o cocidas o en sopas.
Frutas	diaria	Dos a tres tipos al día: en el refrigerio, en batidos, jugos o coladas.
Leguminosas	dos veces por semanas	En menestras, sopas, ensaladas o guisos
Cereales integrales	diario	De dos a tres al día
Harinas de cereales	diario	En coladas con leche o fruta en la tarde o sopas
Pan, tortillas y otra tipo de masas hornadas	Tres a cuatro veces por semana	Unidad en la mañana para el desayuno o en el refrigerio de la tarde
Tubérculos	diario	En sopas o plato fuerte, guisos, ensaladas
Azúcar morena o panela molida	diario	Máximo 4 cucharaditas al día
Aceite de soya, girasol o maíz	diario	Cantidad necesaria al menos dos cucharadas por niño-niña
Agua	diario	Libre demanda

Tabla 1-1 Grupos de alimentos recomendados para niños menores de 3 años

Fuente: Subsecretaría de Desarrollo Infantil Integral – MIES

Una cuestión importante que se debe mencionar es que se estableció un mínimo de dos horas entre cada tiempo de comida, con la finalidad de facilitar el proceso de digestión y asimilación de los alimentos por parte del organismo del niño y niña. Además, se fomenta la formación de hábitos saludables de alimentación.

1.3.2.4 Estado fisiológico del niño-niña

La alimentación de las niñas y niños debe responder a sus características individuales como; estado de salud, en este caso si presenta o no alguna enfermedad especialmente infecciosas entre ellas: enfermedad diarreica aguda (EDA) o infecciones respiratorias agudas (IRA); el estado nutricional es muy

importante para la asistencia alimentaria; si está normal o padece algún tipo de desnutrición.

1.3.2.5 Presupuesto asignado por niña-niño y por día

Para la realizar una correcta planificación de la alimentación diaria es necesario conocer el rubro asignado por niño y por día para cuantificar el monto total que cuenta el CIBV para la compra de los alimentos. La cantidad que estableció el IEPS para garantizar la provisión de las 4 comidas diarias para cada uno de los niños que asisten a los CIBV es de 2,60 dólares, valor que cubre tanto la compra de alimentos así como los suministros requeridos para la preparación de cada uno de las respectivas comidas.

Es así que se multiplica el número de niñas y niños según convenio, o niños y niñas que asisten normalmente por el rubro asignado por día y por niño, obteniendo el monto diario; si se lo hace semanalmente se multiplica por los 5 días.

Además es importante contar siempre con un listado referencial de costo de alimentos según la unidad de compra (litros, libras, unidad, atado, etc.) y el tipo de alimentos que vaya a ser adquirido.

1.3.2.6 Producción y disponibilidad de alimentos en el mercado y zonas geográficas cercanas

Un aspecto importante para realizar la planificación de la alimentación diaria es considerar la disponibilidad de alimentos en el mercado y en zonas geográficas cercanas, ya que de esta manera abaratan costos; adicionalmente es importante tomar en cuenta que actualmente se cuenta con los proveedores de la Economía Popular y Solidaria promovidos por el Instituto de Economía Popular y Solidaria donde se debe priorizar su compra.

1.3.2.7 La inclusión de alimentos de temporada

Es necesario incluir alimentos de temporada en los menús, sean estos a nivel local, de los sectores cercanos o también nacionales, ya que así se disminuyen costos y se prioriza su ingesta, formando hábitos de consumo en los infantes.

1.3.2.8 Hábitos, costumbres y prácticas alimentarias

Con la finalidad de recuperar las preparaciones tradicionales a nivel local se deben incluir las diferentes prácticas alimentarias propias de cada localidad en la planificación del menú, especialmente aquellas que se preparan en fechas tradicionales.

1.3.2.9 Disponibilidad de equipos y utensilios de cocina

Se debe considerar la disponibilidad de equipos con que cuenta la unidad de atención para la preparación de los alimentos; entre ellos al horno, a la plancha, etc.

1.3.2.10 Derivación de la alimentación para casos especiales (EDA, IRA, desnutrición)

La derivación de la alimentación para casos especiales, es un proceso que se realiza frecuentemente en los servicios de alimentación y significa que del menú general del día usted procede a retirar y/o incluir otros alimentos en las preparaciones del día.

Pueden existir casos con prescripción médica post atención médica, para lo cual se deberá cumplir con derivación de la alimentación según la enfermedad.

La planificación de los menús se lo realiza mediante ciclos, por lo cual la organización prestadora del servicio de alimentación entregará la planificación de un de ciclo menús de cinco semanas con una rotación de 2 cada dos meses, previamente aprobados por la Coordinadora del CIBV y revisado por el Técnico Distrital responsable de los procesos técnicos de Desarrollo Infantil Integral, con al menos 15 días de anticipación.

La rotación bimensual se la realiza con la finalidad de facilitar los procesos administrativos y financieros, así como para evitar la repetición de preparaciones durante cada ciclo.

Los tiempos de comida considerados en la asistencia alimentaria del MIES son 4, desayuno, media mañana, almuerzo y media tarde, mismos que deben ser entregados en horarios estables para todos las niñas y niños independientes de su edad, por ello se estableció los siguientes horarios de alimentación:

Desayuno:	de 8 a 8h30
Media Mañana:	de 10 a 10h30
Almuerzo:	de 12 a 13h00
Media tarde:	de 15 a 15h30

Es necesario aclarar que como norma institucional se establece que el Técnico Distrital debe realizar al menos una visita técnica al mes, y una de sus responsabilidades es revisar y dar asistencia técnica a la planificación y cumplimiento del menú saludable, según los lineamientos institucionales.

El Técnico Distrital dejará constancia de la revisión a través de su firma y fecha de visita en la planificación del menú saludable y en la ficha de la semana que está en vigencia.

Todos los aspectos mencionados anteriormente corresponden a las principales actividades que se deben realizar previamente a brindar la alimentación a los niños asistentes a los CIBV, de esta forma se espera contribuir a mejorar la salud nutricional de la población y con ello evitar efectos negativos en el desarrollo de un país.

Considerando todos estos aspectos que pueden influir negativamente en la economía del país, principalmente a los grupos y poblaciones vulnerables, se realizará un estudio en el cual se contribuirá significativamente a mejorar las dietas que son proporcionadas a los infantes, las cuales además de tener un costo reducido, proveerán la cantidad adecuada de nutrientes recomendados por expertos en temas de alimentación. Adicionalmente, ofrecerán variedad convirtiéndose en una herramienta fundamental que podrá ser utilizada y

adaptada a diferentes grupos de edad tomando en cuenta las características específicas que cada grupo en particular.

2. MARCO TEÓRICO

En el capítulo anterior se indicaron los principales aspectos mediante los cuales se puede caracterizar a la malnutrición por desnutrición, razón por la que se concluyó era uno de los principales problemas a resolver por los gobiernos de cada nación, específicamente se trató con el caso de nuestro país, indicando las falencias y lo que se ha hecho durante los últimos 20 años para frenar este problema. Además, se describieron los programas incentivados por las autoridades para erradicar la desnutrición, enfocándose en la población indígena y con altos índices de pobreza. Una de las alternativas que se ofrece a la población de escasos recursos y en donde se enfocará el presente estudio es precisamente los Centros Infantiles del Buen Vivir (o CIBV). Éstos ofrecen un servicio de alimentación a niños entre uno y tres años de edad mediante el cual se pretende brindar una alimentación sana que pueda satisfacer las necesidades nutricionales de cada niño y de esta forma contribuir a la erradicación de la desnutrición.

En el servicio de alimentación que proveen los CIBV es importante considerar algunos factores de gran importancia como son: el presupuesto diario por niño, la variedad alimentaria que debe existir en cada día, la satisfacción mínima de nutrientes diarios, la edad de los infantes, la disponibilidad de alimentos, y las diferentes costumbres de cada región de nuestro país. Estos aspectos deben ser tomados en cuenta para poder realizar una dieta adecuada diaria, y con ello poder planificar la compra y preparación de los alimentos a ser entregados a los niños de manera regular.

Para involucrar todos los aspectos anteriormente señalados se hace necesario el uso de la programación lineal, en donde mediante el planteamiento de una función objetivo, la cual puede ser maximizada o minimizada según sea el caso, sujeta a ciertas restricciones (ya sean de presupuesto, requerimientos, etc.), se puede encontrar la forma de optimizar o realizar de mejor manera el uso de recursos. En nuestro caso se buscará una función objetivo que minimice el costo

diario de cada dieta, que garantice la ingesta de todos los nutrientes diarios recomendados en los infantes, incluyendo alimentos según la disponibilidad de temporada de cada uno de ellos.

Existe en la literatura de la investigación de operaciones un problema muy conocido, mismo que sirve como inicio para involucrarse en el campo de la programación lineal, este problema es conocido como el Problema de la Dieta de Stigler [12]. En lo que sigue se indicará el objetivo y planteamiento de este problema, así como las soluciones que se generaron, además se tratarán modelos similares basados en el primero que han sido desarrollados en otros países para elaborar dietas de costo mínimo. Adicionalmente, modelos elaborados para satisfacer requerimientos nutricionales en avícolas y ganaderas relacionados con la minimización de costos. Finalmente se hará una breve explicación de los métodos de resolución de programas lineales y de las características del software a utilizar con el fin de dar solución del modelo que se propone plantear.

2.1 PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es una de las principales técnicas que utiliza la investigación de operaciones para describir un gran número de situaciones de la vida real, razón por la cual su aplicación es muy exitosa en la actualidad. Una de las definiciones más acertadas sobre lo que se refiere a programación lineal es la propuesta por Richard Levin la cual dice textualmente:

“...es una técnica matemática para encontrar los mejores usos de la organización. El adjetivo lineal se usa para describir la relación entre dos o más variables, una relación que es directa y precisamente proporcional. El término programación se refiere al uso de ciertas técnicas matemáticas para obtener la mejor solución posible a un problema que involucra recursos limitados. [13]”

En sus inicios esta técnica fue planteada como un modelo matemático y desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial en Inglaterra, cuyo principal

objetivo era planificar los gastos y retornos a fin de reducir los costos al ejército y al mismo tiempo aumentar las pérdidas del enemigo [14], sin embargo, al final de la guerra todas las ideas formuladas para las operaciones militares fueron utilizadas en pro de mejorar la eficiencia y la productividad en la población civil. Desde entonces la programación lineal se utiliza en varios sectores como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones e implementación de medidas y políticas.

Uno de los principales elementos de la programación lineal es el modelado matemático, aunque este ofrece una base para la toma de decisiones, siempre es indispensable involucrar factores no cuantificables, (el comportamiento de la sociedad, el aspecto político, los requerimientos solicitados, etc.), permitiendo con ello tener los criterios adecuados para que la toma final de decisiones se realice correctamente.

Durante los últimos años se han venido desarrollando nuevas ideas en las cuales se pueda utilizar la programación lineal, haciendo que en la actualidad el uso de esta herramienta matemática se dé con una mayor frecuencia. Este mayor uso se justifica principalmente por un mejor conocimiento de las metodologías en los diferentes campos de estudio, la creciente y alta complejidad de los problemas que se desea resolver, la mayor disponibilidad y acceso a software y el desarrollo de nuevos y mejores algoritmos de solución de parte de los investigadores que incursionan en este campo.

La construcción de modelos mediante la aplicación de la programación lineal requiere de una abstracción de la realidad, y adicionalmente de la identificación de los factores preponderantes que determinan el comportamiento del sistema en estudio. De esta forma podemos señalar que un modelo es una representación idealizada de una situación real que viven los agentes que participan e interactúan en la sociedad.

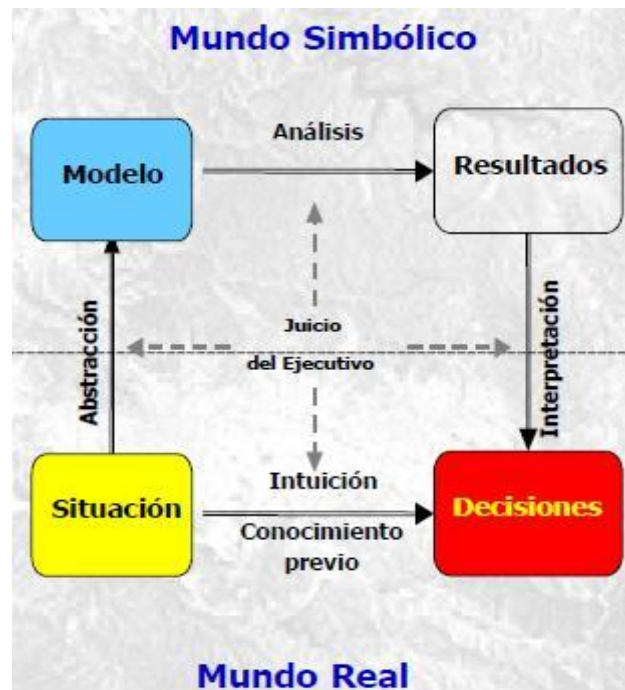


Figura 2-1 Proceso para la toma de decisiones utilizando programación lineal
Fuente: Investigación de operaciones.net

El gráfico anterior se puede explicar de la siguiente manera: dada una situación real en la cual surge una necesidad o un problema, y después de hacer una abstracción (considerar las cualidades esenciales de un objeto o contexto aisladamente para conocer su esencia o noción), se puede realizar un modelo, mismo que luego del análisis y pruebas pertinentes arrojará resultados que deberán ser interpretados por el investigador. Para cerrar el circuito se procederá a la toma de decisiones involucrando los resultados del modelo, el conocimiento previo de la situación real y la experiencia e intuición. Es importante señalar que el juicio de la persona encargada (responsable de cambiar la situación inicial) debe estar presente en cada una de las actividades mencionadas, de tal forma que ayude a realizar un mejor trabajo conforme éste se va desarrollando.

2.1.1 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL

La modelación como parte de la programación lineal es sin duda el aspecto primordial en el desarrollo de una investigación. Sin embargo a pesar de su importancia como parte del proceso investigativo, la modelación no cuenta con un algoritmo o proceso preestablecido, pues según algunos autores es una mezcla

entre “ciencia y arte” que no puede enseñarse tal cual, pero mediante la propia experiencia y la práctica es posible crear un buen modelo matemático capaz de explicar los fenómenos que se estén analizando.

Existen algunos tipos de modelos que pueden ser creados mediante la programación lineal, entre ellos están los continuos, enteros, y mixtos como los principales. La construcción de cada uno de ellos se puede realizar mediante algunos principios obtenidos en base a la experiencia de muchos investigadores de operaciones, permitiendo dividir esta etapa en dos fases: la subjetiva y la objetiva. En la parte subjetiva se involucra la definición del sistema asumido y reducido de la realidad, en cambio la parte objetiva es más conocida como formulación.

La formulación consiste en trasladarse directamente del sistema asumido en principio al modelo de programación lineal pasando por tres fases o bloques diferenciados: la función objetivo, las restricciones y la designación del signo de las variables. Por ello, es recomendable en primera instancia definir la o las variables de decisión, en segundo lugar el objetivo, enseguida las restricciones para finalmente establecer las condiciones técnicas. A continuación se dará una breve explicación de cada uno de los conceptos mencionados con anterioridad:

Variables de decisión. son conocidas como las incógnitas del problema, en su mayoría representan una cualidad o característica que no se conoce de un índice o conjunto, cuyos valores son determinados al resolver el modelo previamente planteado.

Función objetivo. es una función lineal la cual define, mediante la combinación de las variables de decisión, la cantidad que se va a minimizar o maximizar según sea el caso:

$$f(x, y) = ax + by$$

Donde:

x e y son las variables de decisión.

a y b son parámetros conocidos.

Restricciones. se entienden como las diferentes condiciones que debe cumplir la solución para que ésta pueda llevarse a cabo. Estas restricciones limitan el grado en el cuál se pueda conseguir el objetivo de la función, se representan en la práctica como ecuaciones e inecuaciones lineales:

$$\begin{aligned} a_1x + b_1y &\leq c_1 \\ a_2x + b_2y &\leq c_2 \\ \dots \quad \dots \quad \dots & \\ a_nx + b_ny &\leq c_n \end{aligned}$$

Donde:

a, b y c son parámetros conocidos.

x e y son las variables de decisión.

Condiciones técnicas. estas condiciones se plantean adicionalmente a las restricciones del modelo para asegurar que los valores de las variables de decisión no tomen valores negativos.

$$x, y \geq 0$$

La formulación descrita anteriormente es aplicable para los modelos lineales continuos, enteros y mixtos, la diferencia que prevalece entre estos modelos son los valores que toman las variables de decisión; en el caso de los modelos continuos las variables toman valores continuos, es decir, en el conjunto de los reales ($x \in \mathbb{R}$), en los modelos enteros los valores de las variables no se encuentran en un conjunto continuo, pudiendo ser estas binarias (valores 0 y 1) o variables que toman valores en el conjunto de los enteros (0,1,2... etc). Los modelos mixtos son una combinación de los anteriores, por lo que los valores que toman las variables son tanto continuas como enteras.

Una vez formulado el problema de programación lineal es indispensable encontrar una solución al mismo. Para llegar a encontrar las soluciones del

problema se puede utilizar diferentes métodos que luego de su ejecución permiten encontrar la solución óptima (ver anexo “métodos de solución”).

2.2 PROBLEMA DE LA DIETA DE STIGLER

Luego de haber revisado los fundamentos teóricos relacionados a plantear problemas de programación lineal, así como haber conocido los principales métodos de solución de los mismos, se procede a analizar uno de los primeros problemas de optimización, cuya motivación principal fue el ejército americano quien se vio en la necesidad de asegurar sus requerimientos nutricionales manteniendo un bajo costo de los alimentos involucrados para proveer los mismos.

Este problema fue analizado y resuelto por George Stigler [12], un economista que se involucró en diferentes investigaciones relacionadas a la industria y al mercado (1945) mediante el uso de la programación lineal. A continuación se describe brevemente su formulación así como la solución encontrada, teniendo en cuenta que se utilizaron algoritmos heurísticos pues los métodos de solución fueron creados mucho después de que fuera propuesto el problema de la dieta. El modelo utilizado para realizar los primeros estudios en cuanto a dietas balanceadas luego de la formulación propuesta por Stigler se representa de la siguiente manera:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m c_i x_i$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m n_{ij} x_i \geq b_j \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, k$$

$$x_i \geq 0 \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, m$$

De donde:

$$c_i = \text{Costo del alimento } i$$

x_i = Cantidad del alimento i

n_{ij} = Nutriente j de cada alimento i

b_j = Requerimiento nutricional del alimento i

El estudio de Stigler inicio en primera instancia con la obtención de los requerimientos nutricionales de una lista de alimentos así como los precios en los mercados de cada uno de ellos. Todos estos datos los resumió en una tabla en donde cada alimento tenía todos sus componentes nutricionales y precios, mismos que con anterioridad fueron analizados y transformados para obtener el costo y aporte nutricional de un gramo de cada alimento. La siguiente tabla muestra los nutrientes que fueron considerados en el problema de la dieta por George Stigler:

Nutriente	Ingesta diaria recomendada
Calorías	3000 calorías
Proteínas	70 gramos
Calcio	0.8 gramos
Hierro	12 miligramos
Vitamina A	5000 IU
Tiamina	1.8 miligramos
Riboflavina	2.7 miligramos
Niacina	18 miligramos
Vitamina C	75 miligramos

Tabla 2-1 Nutrientes en la dieta de Stigler

Fuente: The cost of subsistence – 1945

Luego de tener todos los datos organizados empezó a excluir los productos que tenían inferiores requerimientos nutricionales con relación a otros alimentos y que además tenían menor precio. Así, si dos alimentos tienen similares características nutricionales y difieren en precio, se escoge el más barato. De esta forma logró reducir su lista de alimentos de 77 a 15 siguiendo únicamente un método experimental. Ya con esta lista de únicamente 15 alimentos elaboró varias combinaciones lineales de ellos, en donde en cada combinación cumplían con los requerimientos nutricionales y tenía un costo mínimo para una persona en Estados Unidos. Mediante este método se obtuvo un costo mínimo anual para el

año de 1939 de \$39.93, mientras que para el año de 1944 fue de \$59.88, estos costos fueron elaborados según la lista de los siguientes alimentos:

Alimento	Cantidad (lb)	
	1939	1944
Harina de trigo	370	535
Leche	57 envases	0
Col	111	107
Espinacas	23	13
Fréjol seco	285	0
Harina para pancakes	0	134
Hígado	0	25

Tabla 2-2 Solución del modelo de la dieta de Stigler
Fuente: The cost of subsistence, Stigler George – 1945

Este primer estudio tuvo muchas controversias debido a que no se consideraban todos los nutrientes en motivo de que en aquella época no se habían descubierto y conocido sus propiedades dentro de los alimentos, además el número de alimentos no era el suficiente, también fueron únicamente considerados los límites inferiores de nutrientes sin darse cuenta lo que podría producir su ingesta excesiva. Sin embargo, la poca variedad y el poco sabor que podían ofrecer fueron las principales limitantes, pero fue reconocida por el estudio y metodologías utilizados. Actualmente, es considerado uno de los primeros trabajos de la programación lineal.

2.3 TRABAJOS RELACIONADOS AL ESTUDIO PLANTEADO

Si bien la seguridad alimentaria y adecuada nutrición de la población se encuentran entre los objetivos de política económica y social de un gobierno, en nuestro país los estudios relacionados a nutrición y salud no se han desarrollado en gran medida, únicamente se han diseñado programas de ayuda que intentan combatir la desnutrición y malnutrición, pero muchas veces no se toma en cuenta que los costos asociados a estos programas pueden ser reducidos utilizando métodos matemáticos, específicamente la programación lineal, como complemento de los programas de ayuda.

2.3.1 MODELO DE COSTO MÍNIMO EN COLOMBIA

En Colombia se desarrolló un estudio cuyo objetivo era determinar el costo mínimo de una dieta para la población de Bogotá de acuerdo a la variabilidad de los precios según la época del año, tomando como base el modelo de la dieta de Stigler. Similarmente, el objetivo era minimizar el costo de una dieta sujeto a las restricciones de nutrientes clásicas, la diferencia radica en que se generó un intervalo donde se encuentran los valores de consumo de nutrientes en pro de encontrar resultados más precisos, además de utilizar el mencionado modelo para cada mes del año 2010 y mediante ello conocer la variabilidad del costo durante dicho año [15]. Se consideró también cuatro diferentes rangos de edad, partiendo de los rangos más representativos en Bogotá según la edad y el sexo.

Los resultados que arrojó este estudio fueron tablas con los alimentos que conforman la dieta balanceada, la cantidad en gramos que se debe consumir de cada uno de ellos, y costo asociado por el consumo mensual de cada uno de los alimentos que sugiere la dieta; cada una de las tablas construida para los rangos de edad escogidos como representativos en dicha ciudad. Otra importante conclusión fue que a pesar de que las dietas eran de costo mínimo, para la mayoría de hogares no eran accesibles pues el gasto de los bogotanos en alimentos era mucho menor si no se utilizaban estas dietas balanceadas.

2.3.2 MODELO DE COSTO MÍNIMO PARA ANIMALES DE GRANJAS

A parte del estudio mencionado con anterioridad, se han desarrollado modelos de optimización que permiten minimizar el costo de las porciones de alimento que necesitan animales de granja, tomando en cuenta las necesidades nutricionales en cada etapa de los distintos animales (cerdos, aves, caballos, etc.) [16].

Este análisis se lo ejecutó en motivo de que las empresas dedicadas a la actividad agropecuaria, se les exige, de cierta forma, que sus animales tengan una adecuada estructura ósea y que su composición nutricional sea apropiada como requisito para que ellos puedan ser comercializados en el mercado agrícola.

De ello, la principal necesidad fue elaborar un modelo que permita la formulación de alimento balanceado para animales de granja, adaptado a la creación de un software con el cual se pueda administrar los recursos de manera correcta cumpliendo las exigencias mencionada con anterioridad [16].

Para lograr lo anterior se utilizó el software Mixti1.0 el cual permite calcular la cantidad de insumo que se necesita para elaborar una ración de alimento al menor costo; con fundamento en este programa computacional se elaboró un nuevo software que ya permite administrar los recursos disponibles en el almacén de la granja y con ellos minimizar el costo de cada porción de comida necesaria para los animales que se posee en la granja.

Como se observa los modelos anteriormente revisados involucran la teoría base de Stigler para su formulación, tomando en cuenta que solo el primer modelo se refiere a la creación de dietas para consumo humano, tomando en cuenta algunas restricciones originales e implementando unas nuevas. En el desarrollo de la investigación se mostrará las variaciones con estos modelos en los cuales se incluyen nuevos supuestos que mejoran el modelo original y permiten tener una idea más clara de lo que se pueda sugerir como dietas de costo según los requerimientos y necesidades de la Subsecretaría de Desarrollo Infantil.

2.4 SOFTWARE A UTILIZAR EN LA RESOLUCIÓN DEL MODELO

Existen muchos tipos de software en el mercado que están enfocados a la resolución de programas lineales. Para nuestro caso y debido a los limitados recursos para el desarrollo del proyecto se utilizará un software libre.

De los que se encuentran disponibles en la web se utilizara el SCIP el que actualmente es uno de los solucionadores más rápidos para la programación entera mixta y entera mixta no lineal. Su implementación se la puede realizar con lenguaje C y C++ lo que permite adicionalmente tener el control de todo el proceso de solución que realiza este software [17].

Se puede usar como programa independiente para resolver programas entero mixtos siempre y cuando estos se presenten en formatos tales como MPS, LP, CNF, etc. También lee directamente modelos implementados en ZIMPL.

ZIMPL es un lenguaje que tiene como objetivo transformar un modelo matemático en un programa matemático lineal, que se expresa en formato LP o MPS. Tiene una amplia escala de alcance y puede ser escrito y modificado fácilmente de acuerdo a las necesidades del usuario. De igual forma que el SCIP, la licencia de uso es gratuita y puede ser utilizado tanto para grandes proyectos de industrias así como para pequeñas investigaciones universitarias.

De esta forma se utilizarán tanto el Solver SCIP, como el lenguaje de programación matemática ZIMPL para escribir y dar solución al modelo que se planteará en capítulos posteriores [18].

3. DESARROLLO Y FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

En el capítulo anterior se ha tratado la teoría base de la programación lineal, los pasos para formular un problema y sus posibles algoritmos de solución, además de los modelos básicos relacionados al problema y aplicaciones similares realizadas en otros países.

En el presente capítulo se muestra el desarrollo y la formulación del modelo de costo mínimo, para lo cual en primer lugar se analizan las dietas y menús actuales, mismos que se utilizan al brindar el servicio de alimentación a los niños que asisten a los CIBV, esto en motivo de verificar si se está cumpliendo con los lineamientos de alimentación proporcionados por la Subsecretaría de Desarrollo Infantil.

A continuación y utilizando los fundamentos teóricos explicados a detalle, se describe los datos necesarios a manejar y se realiza una elección entre ellos para posteriormente incluirlos en el modelo. Para verificar la validez de crear dietas estacionales, se analizarán los precios de los alimentos en las diferentes regiones (Costa; Sierra Oriente) y épocas del año, (invierno y verano); de igual forma es necesario identificar la producción de cada región y sus alimentos característicos que son consumidos por la mayoría de sus habitantes. Adicionalmente se realiza una clasificación de los alimentos en grupos de similares características nutricionales, utilizando un análisis de conglomerados, con la finalidad de efectuar reemplazos entre los alimentos que pertenezcan a su respectivo grupo y ofrecer variedad en las dietas propuestas. En la parte final del presente capítulo se muestran los posibles modelos a utilizar, siguiendo el proceso de modelado matemático que permitirá caracterizar de mejor manera los requerimientos alimenticios de los niños asistentes a los CIBV.

3.1 DIETAS PROPORCIONADAS ACTUALMENTE POR LOS CIBV

El servicio de alimentación que se brinda actualmente a los niños entre 1 y 3 años de edad en los CIBV lo prestan empresas de alimentación y catering, las cuales

deben presentarse a una convocatoria realizada por la Subsecretaria de Desarrollo Infantil y presentar sus propuestas. Entre ellas se seleccionarán aquellas que cumplan mayoritariamente con los lineamientos establecidos, entre los principales se encuentran la variedad y el ajuste al presupuesto destinado diariamente para cada niño.

Para el caso de la variedad las empresas que presenten sus propuestas deben tener planificado 5 ciclos de comidas en el año con una duración de dos meses cada uno, en cada ciclo se utilizan los mismos alimentos en diferentes preparaciones para no caer en la monotonía.

Para el caso del costo es conocido que no debe superar el valor de \$1.30 por niño y por día, el cual estará dedicado exclusivamente para la compra de alimentos, adicionalmente se proporciona \$1.30 adicionales para los gastos de logística, preparación y cocción de alimentos entre otros.

Con estos antecedentes, los CIBV con antelación ya poseen las preparaciones diarias de alimentos a ser suministradas a los niños asistentes a estos centros, a continuación se muestra un ejemplo de menú patrón sobre el cual se debe realizar los menús definitivos:

- **Desayuno:** siempre leche y de preferencia sola, o con chocolate, o en batido, o yogurt; acompañado de cereal y/o tubérculo en diferentes preparaciones (leche con panela y pan o rosquilla)
- **Media mañana:** preferencia fruta y al menos una vez a la semana huevo (guineo o manzana, etc.), para facilitar su proceso de asimilación de las vitaminas y minerales.
- **Almuerzo:** sopa de cereal o grano seco o tubérculo, etc., siempre debe estar la verdura (locro de zapallo con choclo tierno)
Segundo o plato fuerte: cereal o tubérculo en diferentes preparaciones (arroz, papas enteras, yucas, mote, tortillas, purés, etc.) con carnes, guisos, o menestras (granos secos) más ensaladas (crudas o cocinadas) siempre; más colada livianas, fresco o jugo o liquido (arroz con carne al jugo, ensalada de brócoli y fresco de tomate de árbol).

- **Refrigerio tarde:** colada de cereal con fruta o con leche, si el presupuesto cubre un sólido, colada de avena con naranjilla, máchica con leche, etc.

Utilizando el patrón anterior como base alimenticia, se elaboran las dietas mismas que se presentan en una ficha como la que se muestra a continuación:

TIEMPO DE COMIDA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
DESAYUNO (8H00)					
OTRO	Porción de fruta picada: papaya, plátano, uvas	Porción de fruta picada: manzana, plátano, kiwi	Porción de fruta picada: sandía, frutilla, papaya	Porción de fruta picada: sandía, frutilla, papaya	Porción de fruta picada: sandía, frutilla, papaya
LÍQUIDO	Yogurth	Leche con chocolate	Batido de tomate de árbol	Ponche	Leche aromatizada
SÓLIDO	Granola seca	Empanada	Arepa de maíz con queso	Pan con queso	Torta de espinaca
REFRIGERIO DE LA MAÑANA (10h00)					
FRUTA	Pera	Manzana	Huevo cocinado	Durazno	Pera
LÍQUIDO	Agua aromática	Agua aromática	Agua aromática	Agua aromática	Agua aromática
ALMUERZO (12h00)					
SOPA	Locro nabo con queso	Cauca con carne de cerdo	Menestrón con carne de res (refrito, fréjol, papas, fideo y col)	Arroz de cebada con pollo	Sopa de avena con queso
PLATO FUERTE	Arroz	Arroz	Arroz	Mote	Tallarín con pollo y verduras
ACOMPAÑADO	Hígado apanado	Estofado de pollo	Lomo a la plancha con vegetales	Fritada	(Zanahoria, tronco de nabo, cebolla, pimienta)
ENSALADA	Curtido de cebolla y tomate	Ensalada de pepinillo y zanahoria amarilla rallada	Ensalada de lechuga	Ensalada de lechuga con tomate	
JUGO	Jugo de guayaba	Jugo de piña	Jugo de naranja	Jugo de babaco	Jugo de tomate de árbol
REFRIGERIO DE LA TARDE (15h00)					
LÍQUIDO	Morocho con leche	Avena con leche	Arroz con leche y pasas	Colada de harina de quinua con leche	Chucula (leche, maduro y queso)
SÓLIDO					

Tabla 3-1 Ficha de tiempos y tipos de comida en los CIBV

Fuente: Normativa de contratación del servicio de alimentación, Subsecretaría de Desarrollo Infantil – MIES 2013

Esta ficha de planificación semanal de menús, corresponde a uno de los CIBV del Gobierno Parroquial Rural de Tanicuchi, provincia de Cotopaxi. Como se puede observar en el cuarto tiempo de comida no se incluye ningún sólido, debido a que es opcional proporcionarlo siempre y cuando el presupuesto cubra éste.

Otro aspecto a tomar en cuenta es la cantidad de alimento (porciones de cada alimento) según el tipo de preparación que se vaya a realizar con los mismos. Estas porciones han sido ya determinadas por la Subsecretaria de Desarrollo Infantil tomando en cuenta el intervalo de edad de los infantes para establecer la cantidad adecuada de alimentos que deben ingerir a diario para su correcta nutrición. Debido a que se trabaja con una base de datos de casi 100 alimentos no se considera adecuado incluirlos, sin embargo a manera de ejemplo se indica para 5 alimentos la cantidad en gramos (cc en caso de los líquidos), que corresponde a una porción de alimento para cada niño de acuerdo al tipo de preparación que tiene cada uno:

Alimentos	Alimento según preparación	Cantida de alimentos por niño según preparación (grac/cc)
Carne de res pura	Bistec, seco, jugo	75
	Sopas y guisos	45
	Frita, plancha, asada	75
Leche entera	Leche con chocolate o leche sola	200
	Batido	150
	Colada	150
Arroz	Sopa y puré	150
	Segundo fuerte	50
	Sopa con leche	20
Tomate riñón	en seco, guiso, estofado, bistec	20
	ensalada sola crema	40
	ensalada acompañada	20
Manzana	refrigerio	80
	colada/ensalada	40

Tabla 3-2 Porción de alimento según la preparación

Fuente: Lineamientos de planificación de menús CIBV, Subsecretaria de Desarrollo Infantil – MIES 2013

Para realizar el análisis de las dietas actuales que proveen los CIBV es necesario conocer la cantidad de macro y micro nutrientes que posee cada uno de los alimentos. Por esta razón se ha utilizado la Tabla de Composición de Alimentos Ecuatorianos, elaborada por el Instituto Nacional de Nutrición [19], la cual incluye la información nutricional de los 586 alimentos más comunes de las tres regiones del país. En esta tabla se detallan el aporte en gramos y miligramos de cada

macro y micronutriente respectivamente por 100 gramos de alimento. Es importante mencionar que no se encontraron tablas con información mucho más actualizada, pues desde ese año no se ha vuelto a realizar estudios en este campo, además las instituciones que requieren de esta información continúan trabajando con esta tabla, motivo por el cual se decidió utilizarla en la presente investigación.

3.2 ANÁLISIS NUTRICIONAL DE LAS DIETAS ACTUALES MANEJADAS POR LOS CIBV

Para realizar este análisis se tomaron las dietas del CIBV de la parroquia de Tanicuchi, Chimborazo correspondientes a un ciclo (5 semanas) eligiendo un día diferente por cada semana. De esta forma se pudo obtener los nutrientes diarios que brindan los cuatro tiempos de comida para los niños entre 1 y 3 años de edad, y de esta forma corroborar que efectivamente se está proporcionando a los infantes asistentes a los CIBV la cantidad de macro y micro nutrientes adecuados a su edad en las comidas que se proveen diariamente. De la misma manera se consideran los alimentos principales en cada una de las comidas suministradas, debido a que los condimentos y especias necesarios se utilizan en cantidades muy pequeñas y no aportan significativamente nutrientes a la dieta diaria.

Los macronutrientes a ser considerados para el análisis son los siguientes

- Proteínas
- Grasa
- Carbohidratos
- Kilocalorías

De igual forma los micronutrientes a utilizarse son:

- Calcio
- Fosforo
- Hierro
- Caroteno

- Tiamina (vitamina B1)
- Riboflavina (vitamina B2)
- Niacina (vitamina B3)
- Ácido ascórbico (vitamina C)

3.2.1 ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES

En la tabla a continuación se muestra la composición en cuanto a macronutrientes de un día de la semana, correspondiente a un ciclo de comidas específico, según el tipo de preparación y las porciones correspondientes:

Menú del día				Macronutrientes por porcion Mies				
Tipo de comida	Comida suministrada	Alimento involucrado	Cantidad según preparación	Proteinas	Grasas	Carbohidratos	Calorias	
Desayuno	Porcion de fruta	Sandía	100	0.7	0.1	5.7	24	
		Frutilla	60	0.42	0.18	5.76	23.4	
		Papaya	100	0.5	0.1	9.3	36	
	Leche aromatizada	leche	150	4.65	4.65	8.1	88.5	
		azucar	10	0	0.02	9.97	38.6	
	Pan con mermelada case	pan	50	5	7.7	26.2	187	
		mermelada			0	0	0	0
Refrigerio de la mañana	Manzana	Manzana	80	0.24	0.24	11.92	45.6	
	Agua aromatica	Azucar	10	0	0.02	9.97	38.6	
Almuerzo	Sopa de bolas de verde	Platano verde	80	0.8	0.16	33.68	125.6	
		Queso	10	1.89	1.46	0.25	11.4	
		Cebolla	5	0.1	0.02	0.585	2.7	
		Arvejas	20	1.5	0.08	4.28	23.2	
	Pure de papa	papa	120	2.88	0	24.48	106.8	
		leche	30	0.93	0.93	1.62	17.7	
	Pollo al horno	pollo	90	15.84	18.27	0	232.2	
		Cebolla	5	0.1	0.02	0.585	2.7	
		Tomate	20	0.2	0.12	1.02	5.4	
	Ensalada con tomate	Suquini	20	0.376	0.1	0.4	9.8	
		Jugo de tamarindo	tamarindo	60	1.14	0.48	39.3	14.4
		Azucar	10	0	0.02	9.97	38.6	
	Refrigerio de la tarde	Morocho con leche	Leche	150	4.65	4.65	8.1	88.5
Morocho			20	1.78	0.94	14.58	71.4	
Azucar			10	0	0.02	9.97	38.6	

Tabla 3-3 Composición de macronutrientes del menú de un día en el CIBV

Fuente: Subsecretaria de Desarrollo Infantil Integral – MIES 2013

Los resultados diarios relacionados a la cantidad de macronutrientes que recibieron los infantes en este día específico fueron los siguientes: en cuanto a proteínas la ingesta fue de 43.69 gramos, 40.28 gramos para las grasas, 235.74 para los carbohidratos.

La Subsecretaria de Desarrollo Infantil ha fijado intervalos porcentuales en cuanto a la cantidad de proteínas, grasas y carbohidratos que deben aportar a las calorías. Para ello existen equivalencias que nos indican cuantas calorías nos aporta un gramo de cada macronutriente, éstas se definen de la siguiente manera:

1 gramo de proteína = 4.13 calorías

1 gramo de carbohidrato = 4.13 calorías

1 gramo de grasa = 9.26 calorías

Utilizando estas equivalencias y realizando las operaciones pertinentes se obtuvo que el número de calorías ingerido en el día fuera de 1527. Como se puede observar el valor de las calorías obtenido supera la cantidad de calorías que debería brindar el CIBV (que debería ser el 70% de la ingesta recomendada, es decir aproximadamente 1075 calorías).

Es importante además analizar los intervalos propuestos de macronutrientes, mediante los cuales se balancea la dieta entre proteínas, grasa y carbohidratos, mismos que fueron definidos en el primer capítulo (véase Recomendaciones nutricionales), así pues, se establecieron los valores en cuanto al aporte calórico de cada macronutriente obteniéndose lo siguiente:

Macronutriente	Valor (cal)	% Aporte calórico	Intervalo recomendado%
Proteínas	180.46448	0.12	12 - 15%
Grasas	372.9928	0.24	25 - 30%
Carbohidratos	973.6062	0.64	55 - 60%

Tabla 3-4 Aporte calórico e intervalos recomendados de macronutrientes

Fuente: Lineamientos de Planificación en los CIBV

Según la tabla anterior vemos que tanto los valores porcentuales de proteínas como de grasas se encuentran dentro del intervalo sugerido, sin embargo los carbohidratos superan el límite superior del intervalo dado. Esto nos indica que las calorías aportadas por el consumo de carbohidratos en la dieta prevalecen sobre los demás macronutrientes produciendo un desbalance en este nutriente. Se realizó este mismo análisis para el resto de dietas pertenecientes al ciclo de comidas del CIBV de Tanicuchi y se encontró resultados similares (ver Anexo 10), en algunos casos se presentaban desbalances muy pequeños en grasas y proteínas, pero el desbalance en carbohidratos es el común denominador de las dietas analizadas.

3.2.2 ANÁLISIS DE MICRONUTRIENTES

Es importante también analizar los micronutrientes en cada alimento, pues de igual forma existen límites diarios para ingerirlos en las comidas y que se recomiendan para mantener un buen funcionamiento del organismo humano. Hay que indicar que la Subsecretaría de Desarrollo Infantil no realiza un análisis en cuanto a este tipo de nutrientes, suponiéndose que son los adecuados en cada dieta. Por ello se analizará si el aporte de estos a la dieta diaria es el correcto basándonos en este caso en los límites para la ingesta de micronutrientes, los cuales se encuentran en el libro *Dietary Reference Intakes* [20]. Estas recomendaciones se resumen en la tabla a continuación para los micronutrientes descritos en páginas anteriores:

Micronutriente	Unidad	Lim. Superior	Lim. Inferior
Calcio	mg/d	2500	490
Fósforo	g/d	3000	322
Hierro	mg/d	40	4.9
Caroteno		Nd	
Tiamina	mg/d	Nd	0.35
Riboflav	mg/d	Nd	0.35
Niacina	mg/d	10	4.2
Ácido ascórbico	mg/d	400	10.5

Tabla 3-5 Recomendaciones de micronutrientes para edades de 1 a 3 años

Fuente: Dietary Reference Intakes - 2006

En base a estos micronutrientes, las recomendaciones diarias de ingesta y las porciones a ingerir diariamente se elaboró la siguiente tabla, la cual detalla la cantidad de micronutrientes que reciben diariamente los niños en los CIBV de la parroquia de Tanicuchi:

Menú del día				Micronutrientes							
Tipo de comida	Comida suministrada	Alimento involucrado	Cantidad según preparación	Calcio	Fosforo	Hierro	Caroteno	Tiamina	Riboflav	Niacina	Acido ascorbico
Desayuno	Porcion de fruta	Sandía	100	7	12	0.5	0.07	0.02	0.02	0.17	8
		Frutilla	60	15.6	15.6	0.9	0.018	0.012	0.018	0.342	45
		Papaya	100	25	11	0.5	0.16	0.02	0.03	0.32	63
	Leche aromatizada	leche	150	138	130.5	0.3	0.015	0.045	0.195	0.12	0
		azucar	10	1.1	0.1	0.02	0	0	0	0.003	0
	Pan con mermelada casera	pan	50	12	61	0.95	0.01	0.06	0.03	0.83	0
mermelada			0	0	0	0	0	0	0	0	
Refrigerio de la mañana	Manzana	Manzana	80	12	8	0.4	1.216	0.016	0.024	0.224	13.6
	Agua aromática	Azucar	10	1.1	0.1	0.02	0	0	0	0.003	0
Almuerzo	Sopa de bolas de verde	Platano verde	80	3.2	23.2	0.8	1.448	0.048	0.048	0.344	20.8
		Queso	10	47.9	35.2	0.26	0.005	0.003	0.041	0.012	0
		Cebolla	5	1.3	2.2	0.035	0.0025	0.0025	0.002	0.02	0.85
		Arvejas	20	5.8	24.8	0.46	0.094	0.086	0.022	0.486	5.6
	Pure de papa	papa	120	7.2	48	1.2	0.048	0.12	0.024	4.632	21.6
		leche	30	27.6	26.1	0.06	0.003	0.009	0.039	0.024	0
	Pollo al horno	pollo	90	13.5	183.6	1.62	0	0.081	0.09	4.482	0
		Cebolla	5	1.45	2.4	0.03	0.0005	0.0025	0.001	0.019	0
	Ensalada con tomate	Tomate	20	2	5.6	0.14	0.18	0.016	0.008	0.144	6.4
		Suquini	20	4.302	0	0.134	0	0.018	0.014	0.142	2.764
	Jugo de tamarindo	tamarindo	60	55.8	71.4	5.4	0.006	0.246	0.114	0.81	6
		Azucar	10	1.1	0.1	0.02	0	0	0	0.003	0
Refrigerio de la tarde	Morocho con leche	Leche	150	138	130.5	0.3	0.015	0.045	0.195	0.12	0
		Morocho	20	2.2	59	0.58	0.008	0.086	0.014	0.32	0
		Azucar	10	1.1	0.1	0.02	0	0	0	0.003	0

Tabla 3-6 Composición de micronutrientes del menú en un día del CIBV

Fuente: Subsecretaría de Desarrollo Infantil – MIES 2013

Analizando de igual manera la tabla anterior para el mismo menú, se pudo concluir que efectivamente el aporte de la mayoría de los micronutrientes se encuentran entre los rangos recomendados, sin embargo, las deficiencias se presentan principalmente en lo que es calcio y niacina (vitamina B3) ya que el

aporte de éstos se encuentra por debajo de los valores requeridos diariamente por el organismo humano. De manera similar se realizó un análisis para las dietas restantes obteniéndose resultados equivalentes al estudio de macronutrientes.

Como se pudo observar y a manera de conclusiones, podemos indicar que en cuanto a macronutrientes, el balance en relación al aporte calórico de carbohidratos y grasas a la dieta diaria no es el adecuado. Esto puede no producir problemas de desnutrición, sin embargo, al excesivo consumo de carbohidratos se encuentran asociadas otras enfermedades como la diabetes y obesidad entre las principales [21]. En cuanto a los micronutrientes, el déficit de estos puede ser un problema considerable en la dieta diaria debido a las enfermedades que puede provocar. Por estas razones se deben buscar formas de balancear las dietas que son entregadas diariamente a los niños en los CIBV, pues al tratar de reducir la incidencia de problemas de desnutrición podemos caer en nuevos conflictos de salud para los infantes, quienes por su condición humilde no podrán sobre llevar los gastos que puedan provocar estas nuevas enfermedades.

3.3 DATOS DE PRECIOS, PRODUCCIÓN Y ORIGEN DE LOS ALIMENTOS EN EL PAÍS

Es conocido que nuestro país es caracterizado por poseer una gran variedad de climas, lo que se traduce en un número inmenso de especies tanto vegetales como animales en las diferentes regiones naturales. Debido a ello, la Subsecretaría de Desarrollo Infantil ha considerado necesario involucrar estos aspectos que son propios de nuestro país en los programas sociales a cargo de ellos, en nuestro caso el tema de la alimentación para combatir la desnutrición infantil. Así pues, se ha utilizado el concepto de Soberanía alimentaria como el principal pilar para poder garantizar una adecuada alimentación a toda la sociedad perteneciente a una determinada región. Este concepto fue introducido por la sociedad civil, que fue llamada a contribuir en la Cumbre Mundial de Alimentación celebrada en Roma en el año de 1996, el cual dice:

“Es el derecho que tienen los pueblos para controlar el sistema agroalimentario y sus factores de producción, de tal forma que la agricultura familiar, campesina,

indígena, de orientación agroecológica, la pesca y la recolección artesanal se desarrollen de forma autónoma y equitativa. De esta manera se garantiza el derecho humano a la provisión permanente de alimentos sanos, nutritivos, suficientes y culturalmente apropiados.”

Es por ello que uno de los objetivos de la Subsecretaria es que se incluyan en las dietas alimentos que sean culturalmente propios de cada región, en su mayoría que puedan ser adquiridos a pequeños productores, de tal forma que, ambas partes sean beneficiadas, incentivando la agricultura a menor escala, fomentando las buenas prácticas alimenticias y manteniendo las costumbres de cada pueblo en nuestro país.

Por lo anteriormente mencionado, la búsqueda tanto de precios, como de producción y origen de los principales alimentos considerados por la Subsecretaria como los principales a ser incluidos en las dietas diarias consiste en la parte primordial de la investigación. Es así que se tomó como referencia la base de 121 alimentos que utiliza la Subsecretaría de Desarrollo Infantil, para los cuales se procedió a buscar la información mencionada en principio.

La recolección de datos sobre precios para cada alimento en las diferentes provincias fue muy complicada de efectuar; mediante investigaciones en organismos que manejan este tipo de información tales como el INEC, MAGAP se pudo obtener precios de algunos alimentos que se comercializan en los principales mercados del país, esto con el fin de analizar su posible estacionalidad y de ello poder observar su escases o abundancia en las diferentes épocas del año.

Sin embargo, para poder efectuar las primeras pruebas del modelo era necesario contar con datos completos de los alimentos a utilizar, es por ello que se decidió tomar éstos de una proveedora de frutas denominada *PROVERFRU Group*, la cual está radicada en Quito, en el interior del Mercado Mayorista al sur de la ciudad; se puede elegir entre 120 productos de diferentes tipos tales como frutas, verduras, tubérculos, granos, harinas, etc. En cuanto al precio de los alimentos en

la categoría carnes se utilizaron valores estimados en base a experiencias propias en la adquisición de estos productos.

Haciendo referencia a la producción, se utilizaron datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en cuyas bases se pudo encontrar la producción en toneladas métricas, el origen y la provincia con mayor producción de 92 alimentos. La finalidad de conocer su origen y producción en principio radicó en poder decidir si era adecuado suponer que, si una provincia tenía mayor producción de un determinado alimento el costo del mismo sería menor, sin embargo, al investigar en ello no se dieron los resultados esperados.

Finalmente en cuanto a los datos utilizados, se los puede encontrar en los Anexos, dentro de la carpeta Datos, como *“Datos de producción y precios”*.

3.3.1 ANÁLISIS DE ESTACIONALIDAD DE PRECIOS DE LOS DIFERENTES ALIMENTOS

Como se mencionó en párrafos anteriores, uno de los objetivos de la investigación es realizar dietas que estén acorde con las costumbres de las diferentes provincias, sin olvidar también la disponibilidad y costo de cada alimento, pues es conocido (en principio) que estos varían dependiendo de la época del año en que nos encontremos y de si los productos pueden ser o no cultivados en los diferentes sectores del país.

De esta forma se obtuvo los precios para 5 ciudades (4 de la Sierra y 1 de la Costa), de 41 alimentos con precios mensuales desde el 11 de junio del 2011 al 13 de junio del 2013, de la página del SINAGAP. Para ellos se propuso realizar un análisis de estacionalidad y verificar si efectivamente se podía tomar como supuesto que los precios de dichos alimentos varíen significativamente al cambiarnos de una estación a otra (invierno a verano y viceversa), así como al utilizar alimentos que no sean producidos en la zona del análisis, esto debido a costos de menaje y transporte.

Se realizó un primer análisis de la variabilidad de precios en el intervalo de tiempo indicado se procedió a graficar las series de precios de cada producto del que se tenía información disponible. Por ejemplo, para la arveja tierna el gráfico de precios es el siguiente:

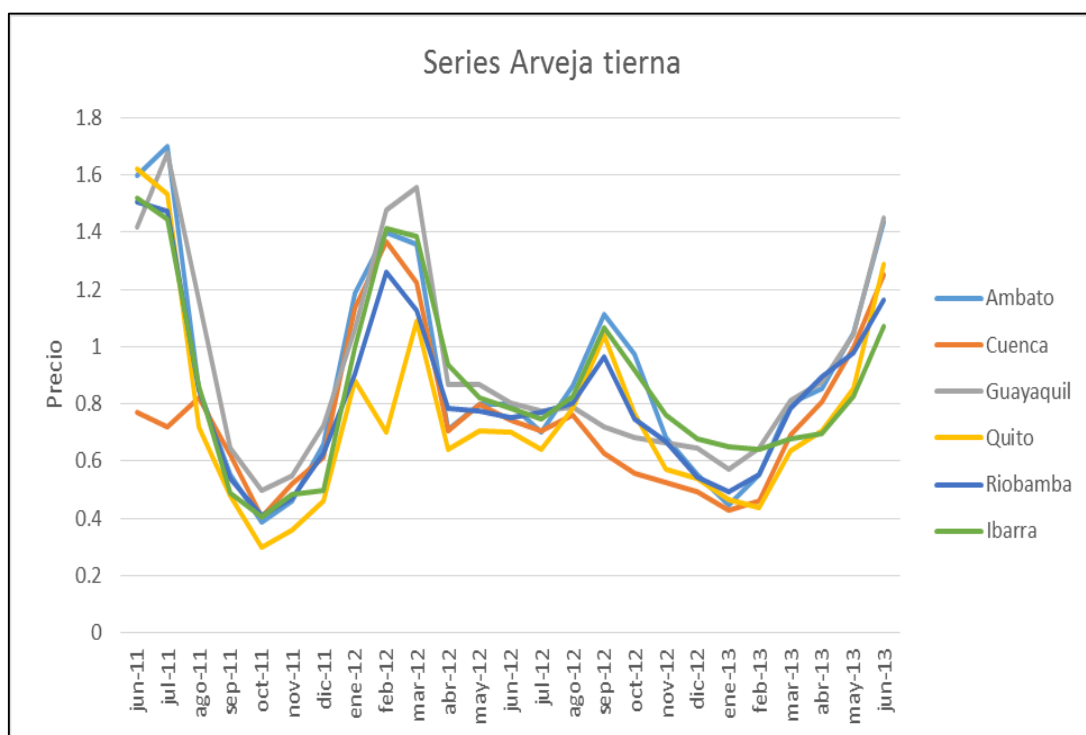


Figura 3-1 Serie de precios Arveja tierna para 6 ciudades

Fuente: SINAGAP - 2013

Observando el gráfico anterior se puede decir que el precio se puede caracterizar como alto en los meses de junio y febrero, y como bajo en los meses de octubre y abril. En este caso sería aceptable construir un modelo de series temporales para poder hacer predicciones futuras de los precios y poder establecer épocas en las cuales el precio estaría alto y bajo, y en base a ello poder decidir que alimento es el más adecuado elegir en cada región y época del año. Sin embargo, el caso presentado anteriormente no fue el denominador común en todos los productos, pues en algunos de ellos el precio permanecía relativamente constante durante todo el año, por ejemplo el caso de la cebolla blanca:

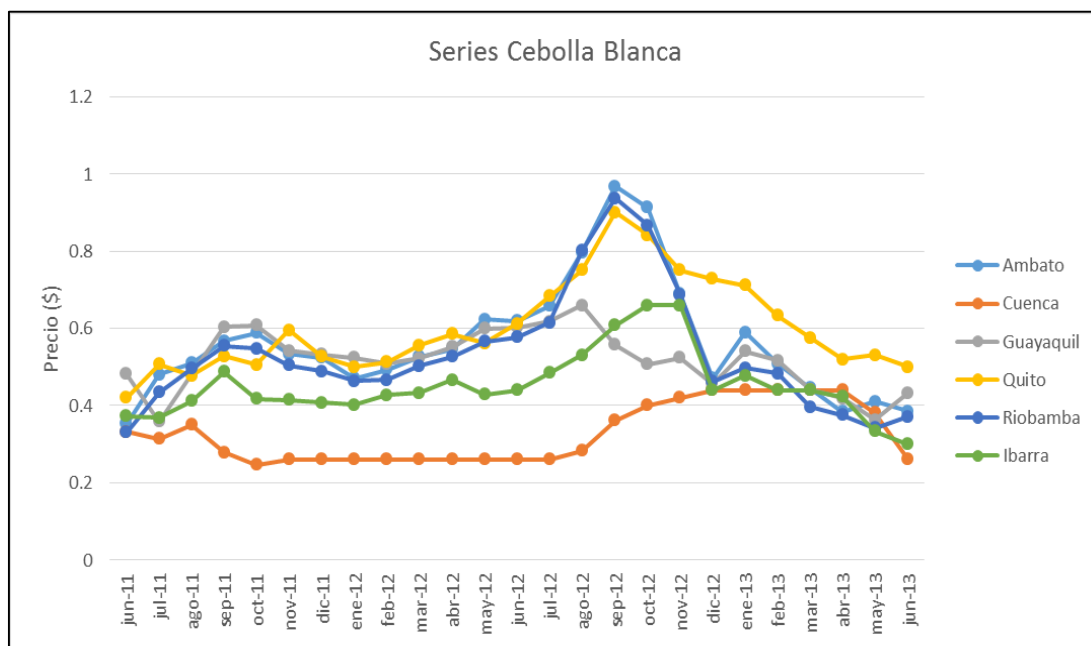


Figura 3-2 Serie de precios Cebolla Blanca para 6 ciudades
Fuente: SINAGAP - 2013

Claramente se puede observar que no existen tendencias marcadas relacionadas con precios altos o bajos en el transcurso del período, salvo en las ciudades de Ambato, Quito y Guayaquil donde se observa un pico entre los meses de septiembre y octubre, por lo demás no se puede hablar de una clara tendencia. Otro caso adicional que se presentaba en las series era la clara tendencia del precio a seguir aumentando conforme transcurría el tiempo, entre ellos podemos indicar el ejemplo del ajo:

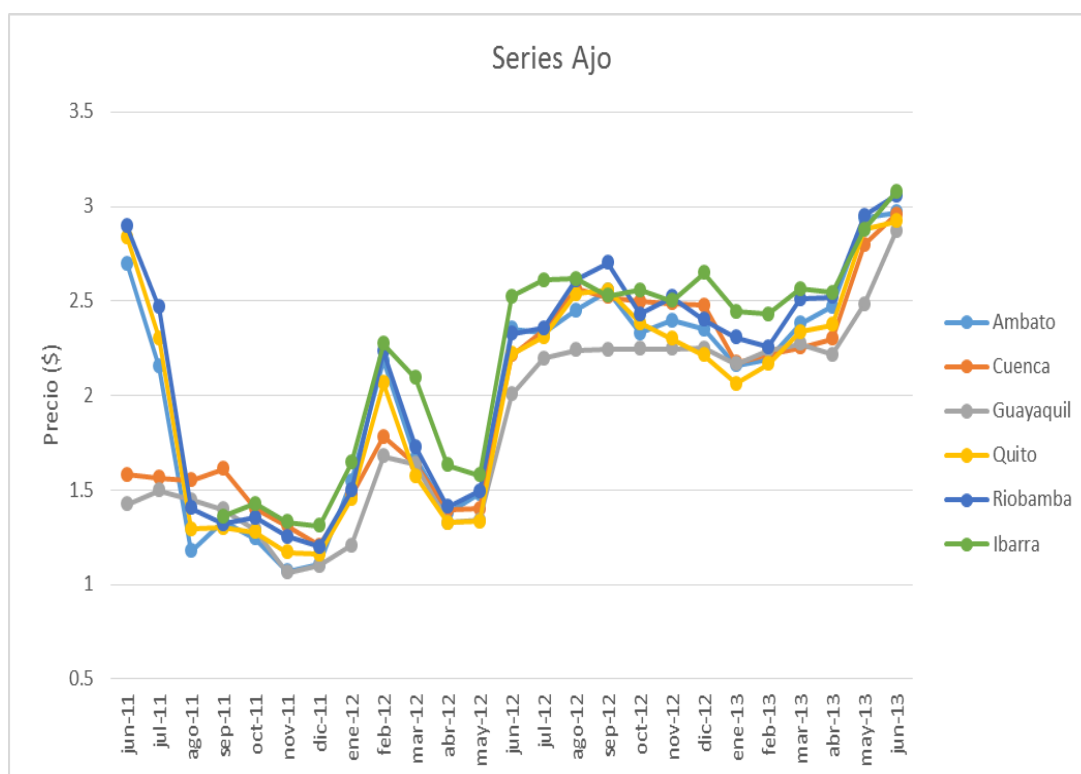


Figura 3-3 Serie de precio ajo para 6 ciudades

Fuente: SINAGAP - 2013

Si bien se observa que existen precios altos y bajos en algunos meses del año, la tendencia general es claramente ascendente conforme avanza el tiempo, porque de igual forma que en el caso anterior no serviría para nuestros propósitos de caracterizar la estacionalidad de precios en las diferentes épocas de año.

Igualmente en otros casos se presentaban series donde el comportamiento era muy variado en cada mes y en cada ciudad (ver Anexo 11) por lo que no se puede establecer un criterio adecuado o generalizar valores para una época del año específica, además realizar un modelo de series temporales para cada ciudad y para cada alimento resultaba necesario, pero no será considerado en esta investigación, la que cual no está enfocada en analizar a fondo series de precios.

Por lo expresado anteriormente se pudo concluir que no es factible incluir en el modelo la variable de estacionalidad, pues en primer lugar resultaba muy difícil caracterizar precios por regiones, menos aún por provincias debido a la

insuficiente información disponible para realizarlo. En segundo lugar, para los pocos productos que se poseía información, la construcción de modelos de series para cada uno de ellos pudiese haber sido en vano, ya que las series no cuentan con las características que se requerían para llegar a resultados adecuados a nuestra realidad. Finalmente, se decidió únicamente tomar los precios de la Provedora PROVERFRU ubicada en Quito para realizar la construcción de los modelos suponiendo que estos son similares, en el resto de las provincias del país.

3.4 CLASIFICACIÓN MULTIVARIANTE POR CONGLOMERADOS

Un aspecto importante a considerar en la elaboración de dietas es la variedad en alimentos que debe tener cada una de ellas en los diferentes días, esto para evitar la monotonía y “cansar” a los niños al brindarles un solo tipo de comida durante una semana seguida o en varios de la misma.

En vista de ello se decidió realizar una clasificación multivariante de los alimentos que son la base para la preparación de las comidas, utilizando como variables cada uno de los nutrientes que poseen los mencionados alimentos. Para esto existen algunas técnicas que permiten realizar una clasificación de acuerdo a las diferentes características que presenten los datos, el que se consideró más adecuado para este caso fue el Análisis de Conglomerados o Clústers.

El análisis de conglomerados es una técnica estadística que permite agrupar tanto elementos como variables de forma que cada uno de los elementos sea muy similar en cada grupo, logrando adicionalmente que entre cada grupo exista la mayor diferencia posible. Este análisis está basado principalmente en criterios geométricos, se utiliza como una técnica exploratoria y depende totalmente de las variables a utilizar.

Para realizar un análisis de conglomerados se han determinado las siguientes etapas:

- Selección de las variables
- Elección de la medida de asociación

- Elección de la técnica de conglomerado
- Interpretación y validación de resultados

3.4.1 SELECCIÓN DE VARIABLES

Según el tipo de problema en el que se encuentre, las variables pueden ser cualitativas o cuantitativas. En nuestro caso las variables a considerar son los nutrientes que posee cada alimento, los datos que proporciona cada una de ellas son de tipo cuantitativo de carácter continuo.

3.4.2 ELECCIÓN DE LA MEDIDA DE ASOCIACIÓN

Esta etapa hace referencia a encontrar una medida numérica que permita identificar las relaciones entre variables o individuos. Cada una de ellas permite asociar los elementos de distinta forma, por lo que es conveniente elegir una medida apropiada de acuerdo al estudio que se realice.

Para realizar una agrupación entre individuos las medidas más comunes que se utilizan son descritas a continuación:

- Distancia Euclídea
- Distancia Euclídea al cuadrado
- Distancia de Minkowski
- Distancia de Mahalanobis
- Distancia de Chebychev

3.4.3 ELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE CONGLOMERADO

Los métodos para realizar una clasificación en conglomerados se pueden dividir en jerárquicos y no jerárquicos.

3.4.3.1 Métodos jerárquicos

Mediante la elección de la técnica de conglomerado se puede agrupar clústers de manera de que se crea un nuevo clúster, o en su defecto dividir alguno ya conformado en dos o más clústers.

De esta forma los métodos *jerárquicos aglomerativos* inician en una situación en la que cada elemento es un conglomerado y en pasos sucesivos se van uniendo hasta formar un único conglomerado. Entre los principales métodos tenemos los siguientes:

- Vecino más Próximo
- Vecino más Lejano
- Promedio entre grupos
- Método del centroide
- Método de la mediana
- Método de Ward

Los *métodos jerárquicos disociativos* siguen el sentido inverso, estos se encargan de formar grupos cada vez más pequeños mediante divisiones sucesivas de un grupo inicial que contiene a todas las observaciones, al final cada una de ellas queda en un clúster distinto.

Estos métodos son mucho menos populares que los aglomerativos, por lo que su estudio no es muy extenso, sin embargo, la filosofía de los métodos aglomerativos es aplicable a los disociativos considerando que en este caso se iniciará de un grupo único que habrá que subdividirlo utilizando la estrategia de maximizar distancias o minimizar la similitud entre ellos.

Ambos métodos, tanto los aglomerativos así como los disociativos, permiten la construcción de un árbol de clasificación denominado dendograma, el cual resume el proceso de agrupación en el análisis.

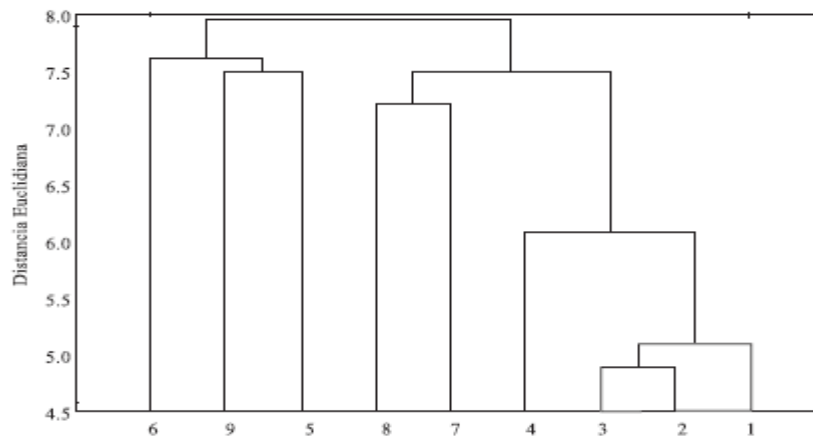


Figura 3-4 Ejemplo de dendograma

En el gráfico anterior se muestra un ejemplo de dendrograma, en la escala vertical se indica la distancia a la que se produjeron las uniones de cada caso particular.

3.4.3.2 Métodos no jerárquicos o de partición

Los métodos no jerárquicos clasifican únicamente individuos en n grupos. El proceso se inicia eligiendo una partición de los elementos en n grupos para luego intercambiar los miembros de los clústers para tener una mejor partición. A diferencia de los métodos jerárquicos, solo pueden aplicarse únicamente a datos, brindando soluciones de tipo óptimo. Los métodos más comunes que se utilizan son:

- K-medias
- Nubes Dinámicas
- Análisis modal
- Métodos Taxap
- Método de Fortin
- Método de Wolf
- Análisis Factorial tipo Q

Dentro de ellos, el más usado es el de K-medias mismo que se encarga de asignar cada caso al clúster (del número que han sido prefijados inicialmente) con el centroide más próximo, tratando de reducir la distancia media entre cada caso

del clúster y su centroide. El centroide se calcula con los componentes del clúster después de cada asignación. En estos procedimientos no se construyen árboles.

3.4.4 INTERPRETACIÓN Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Sin duda la parte más importante de un análisis por conglomerados es la interpretación de los resultados, lo cual nos permitirá conocer la naturaleza de cada uno de ellos, observar sus principales semejanzas y diferencias y con ello poder evaluar la correspondencia de los conglomerados en relación con los que se proponen en una teoría o por la experiencia y la práctica.

Para poder llegar a una correcta interpretación y posteriormente validar los resultados obtenidos, a continuación se indican algunas ideas:

- Realizar Análisis Discriminantes.
- Realizar ANOVAS para observar que grupos son distintos y en que variables.
- Realizar un Análisis Factorial para representar en gráficos los grupos obtenidos y poder realizar comparaciones entre ellos.

En general, hacer una agrupación exacta de varios elementos en distintos grupos no es una labor sencilla, se propone usar varios métodos para realizar una clasificación, y si éstos presentan resultados similares se puede suponer que realmente la agrupación pudo realizarse de manera natural.

3.5 ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE LOS ALIMENTOS PROPORCIONADOS EN LOS CIBV

Para realizar un análisis por conglomerados, independientemente del método a utilizar y de la distancia considerada, se requiere que los datos cumplan con los supuestos básicos para poder realizar una clasificación eficiente. Por ello, en lo que sigue se analizará si la distribución de datos obtenidos presenta problemas,

de ser el caso se utilizarán los métodos que igualmente se mencionan para corregir los desfases y posteriormente continuar con la clasificación multivariante.

3.5.1 REQUISITOS PREVIOS AL ANÁLISIS POR CONGLOMERADOS

Detección de valores atípicos: estos pueden ser originados de observaciones que no son representativas del grupo general en estudio. Se puede solucionar este problema realizando transformaciones de la distribución de datos mediante el uso de la escalera de Tukey, ésta nos da pautas para corregir la asimetría positiva y negativa de un conjunto de datos de una variable mediante el uso de la siguiente tabla:

Tipo asimetría	Transformación	Expresión
Positiva	Raíz cuadrada	\sqrt{x}
	Logaritmo natural	$\ln x$
	Negativo del inverso de la raíz	$-\frac{1}{\sqrt{x}}$
Negativa	Cuadrado	x^2
	Cubo	x^3

Tabla 3-7 Transformaciones de la escalera de Tukey para corregir la asimetría

En el caso de que la corrección de la asimetría (sea esta positiva o negativa) arroje resultados similares al utilizar diferentes transformaciones se sugiere optar por la menos potente.

Para nuestro caso y en virtud de realizar este análisis previo de información se utilizará el software SPSS 21.0. Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Estadísticos descriptivos							
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Asimetría	
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico
Calorías	109	,780	399,000	63,07908	60,546582	2,133	,231
Proteínas	109	,045	46,575	3,08837	6,058075	4,366	,231
Grasas	109	,000	22,200	1,22085	3,288713	4,481	,231
Carbohidratos	109	,000	42,380	10,58804	10,847525	1,278	,231
Calcio	109	,150	226,800	18,51861	35,648799	4,650	,231
Fosforo	109	,000	248,250	45,48253	54,069386	1,708	,231
Hierro	109	,015	5,925	,92149	1,115530	2,854	,231
Caroteno	109	,000	40,200	,58446	3,887491	10,145	,231
Tiamina	109	,000	,495	,05344	,086004	3,390	,231
Riboflav	109	,001	4,400	,09850	,455131	8,536	,231
Niacina	109	,000	10,875	,84152	1,607154	3,809	,231
Acidoascorbico	109	,000	115,200	13,14494	19,442587	2,850	,231
N válido (según lista)	109						

Tabla 3-8 Estadísticos descriptivos de las variables de los alimentos
Fuente: Elaborado por el autor

Se puede observar que los valores medios de las calorías y del fósforo son los más altos en relación a los demás nutrientes, lo que nos indica que éstas variables son el componente principal de cada uno de los alimentos. En contraparte los nutrientes que se presentan en menor cantidad en los alimentos son la Tiamina y el Riboflav, pues las medias son de 0.05344 y 0.0985 respectivamente. Si se toman en cuenta los números absolutos para cada variable sin realizar ninguna transformación, se pueden observar valores atípicos en las variables:

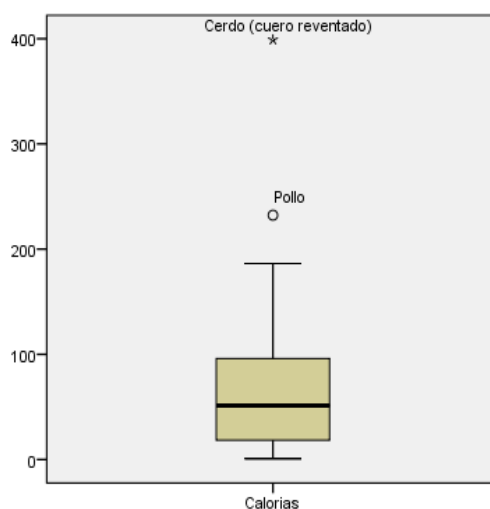


Figura 3-5 Valores atípicos de la variable calorías
Fuente: Elaborado por el autor

Para la variable calorías, se puede ver que existen 2 valores atípicos que se identifican con los alimentos pollo y cuero reventado, el primero que puede considerarse como un punto atípico leve y el segundo como extremo.

Si se grafica la segunda variable denotada como proteína observamos un comportamiento similar al anterior:

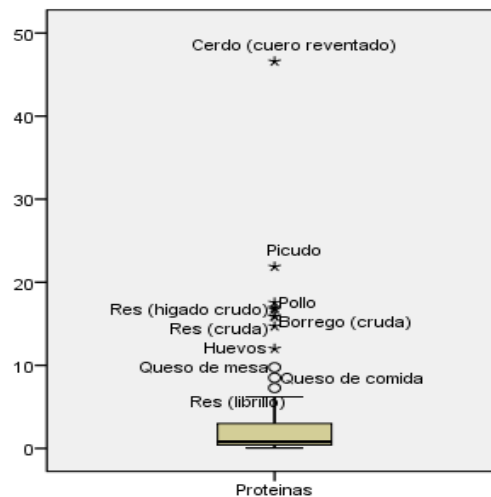


Figura 3-6 Valores atípicos de la variable proteínas

Fuente: Elaborado por el autor

De igual forma se pueden ver casos atípicos leves y extremos en la distribución de la variable indicada. Al realizar el análisis para todas las variables restantes se pudo observar puntos atípicos tanto leves como extremos, situándose éstos en la parte superior de la distribución de cada variable en particular, lo que nos indica que en todas ellas se presenta una asimetría positiva. Según la Escalera de Tukey para corregir este tipo de asimetría se puede emplear la raíz cuadrada, el logaritmo natural, o el negativo del inverso de la raíz cuadrada de las variables en analizadas. En primera instancia se calculó la raíz cuadrada de cada una de las variables para poder corregir la asimetría positiva, lo cual se observa a continuación:

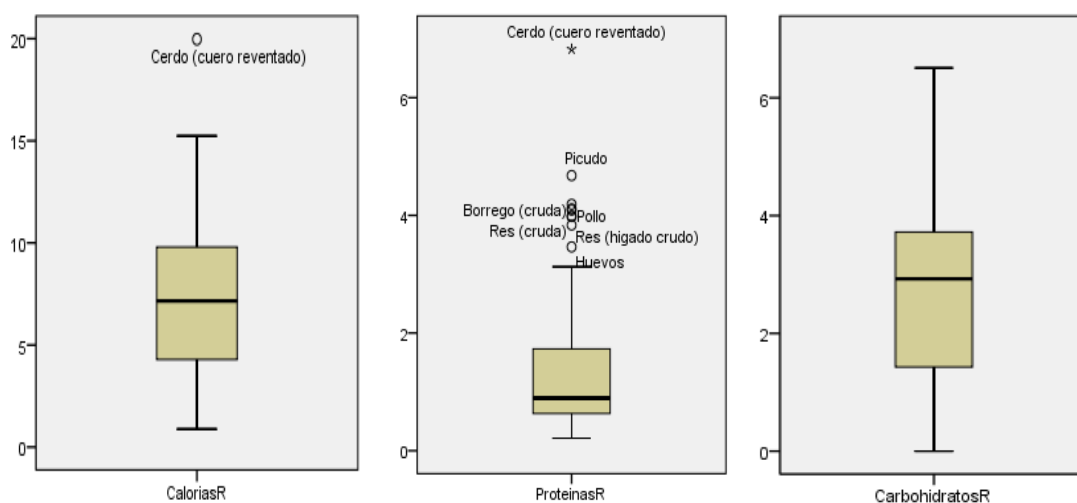


Figura 3-7 Transformación raíz cuadrada para 3 variables

Fuente: Elaborado por el autor

Las nuevas variables a las cuales se realizó la transformación se denotan con una R mayúscula al final de la variable original, en el caso de las calorías se observa que uno de los puntos atípicos se ha eliminado, lo que no sucede con el dato correspondiente al cerdo (cuero reventado) el cual no se ha corregido aún después de realizar la transformación, en las proteínas de igual manera los valores atípicos leves han sido corregidos persistiendo los puntos extremos, en otro caso como el de los carbohidratos se puede observar que se ha corregido totalmente la asimetría positiva desapareciendo todos los valores atípicos.

En resumen, para la mayoría de variables no se corrigió la asimetría al transformarlas aplicando la raíz cuadrada de sus valores, por ello se recurrió a otras transformaciones para evitar puntos atípicos en el resto de variables, estas son: el logaritmo natural y el inverso negativo de la raíz cuadrada, a aplicarse según sea necesario.

Al realizar este análisis se concluye que las variables que necesitan transformación logarítmica son: calorías, proteínas, grasa, calcio, hierro, tiamina, riboflavina, y niacina; las que se aplicó raíz cuadrada: carbohidratos, fosforo y ácido ascórbico; únicamente en la variable caroteno se usó la transformación del negativo inverso de la raíz.

De esta forma en la mayoría de variables se eliminaron puntos atípicos, teniendo resuelta la primera condición para realizar el análisis descripto.

Tipificación o estandarización de variables a usar: Uno de los principales problemas a los que se enfrentan las diferentes medidas de distancia es el uso de datos no estandarizados; éstos pueden generar conflictos al momento de encontrar similitud entre las diferentes observaciones pudiendo clasificar erróneamente a los elementos en los grupos a crearse posteriormente. Por ello, es recomendable estandarizar las variables antes de realizar un análisis por conglomerados, como una forma de evitar soluciones diferentes en el caso de que sea necesario cambiar entre las escalas de medición.

Se puede tipificar o estandarizar las variables mediante el uso de la distancia de Mahalanobis, sin embargo, si no se cuenta con esta medida de similitud se puede usar como una opción la Distancia Euclídea al Cuadrado.

En nuestro caso se utilizó la estandarización que realiza el software SPSS 21, el cual recurre al uso de la Distancia Euclídea al cuadrado para lograr este fin.

Una vez que se ha realizado este análisis previo, y al haber corregido los inconvenientes presentados nos enfocamos en la metodología explicada en páginas anteriores para proceder a realizar el análisis por conglomerados de los datos en cuestión (alimentos proporcionados en los CIBV).

3.5.2 ETAPAS REALIZADAS PARA EFECTUAR LA CLASIFICACIÓN

3.5.2.1 Elección de variables

Las variables a usar son los macro y micro nutrientes de cada alimento en la base de datos, estos valores fueron obtenidos de la “Tabla de composición de los alimentos ecuatorianos” realizada por el Instituto Nacional de Nutrición en Guayaquil en el año de 1975.

Se buscó por información actualizada en lo referente a la composición nutricional de cada alimento e inclusive se trató de trabajar con tablas de similares características elaboradas en otros países, sin embargo la recomendación fue de

trabajar con la tabla mencionada anteriormente pues en otros estudios se ha utilizado la misma información, además que refleja la composición nutricional de los alimentos de nuestros país, siendo inadecuado el uso de tablas foráneas.

3.5.2.2 Medida de asociación de individuos

El segundo paso es la elección de la medida de asociación entre individuos, es recomendable el uso de la distancia de Mahalanobis, sin embargo, al no estar disponible en el paquete estadístico SPSS 21.0 con el cual se realizará el análisis, se usa la Distancia Euclídea al Cuadrado que surge como una alternativa confiable y eficaz.

3.5.2.3 Método de construcción de conglomerados

En cuanto al método para realizar los conglomerados se ha decidido utilizar el método jerárquico aglomerativo de Ward, el cual se describe brevemente a continuación y se menciona sus principales ventajas.

Método de Ward

El Método de Ward es un procedimiento jerárquico en el cuál, en cada fase se unen dos conglomerados buscando minimizar la varianza dentro de cada grupo, mediante este proceso los grupos a crearse son mucho más homogéneos además que su tamaño es casi similar.

Según una investigación realizada por Kuiper y Fisher se logró demostrar que este procedimiento era capaz de acertar mejor en la clasificación óptima que con los métodos de mínimo, máximo, media y centroide [22].

Una vez elegidas las variables, la medida de asociación y el método de agrupación se procedió a realizar la clasificación mediante el uso del Software SPSS 21. Los resultados que arrojó este paquete estadístico al utilizar el método de Ward y la Distancia Euclídea al Cuadrado son:

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
85	78,0	24	22,0	109	100,0

a. distancia euclídea al cuadrado usada

b. Vinculación de Ward

Tabla 3-9 Resumen previo al análisis por conglomerados

Fuente: Elaborado por el autor

En primera instancia se observa que existe un porcentaje alto de datos perdidos, esto se debe a que al realizar las transformaciones (especialmente la logarítmica y del inverso negativo de la raíz) los valores que figuran como ceros no pueden ser calculados y el programa los etiqueta como casos perdidos.

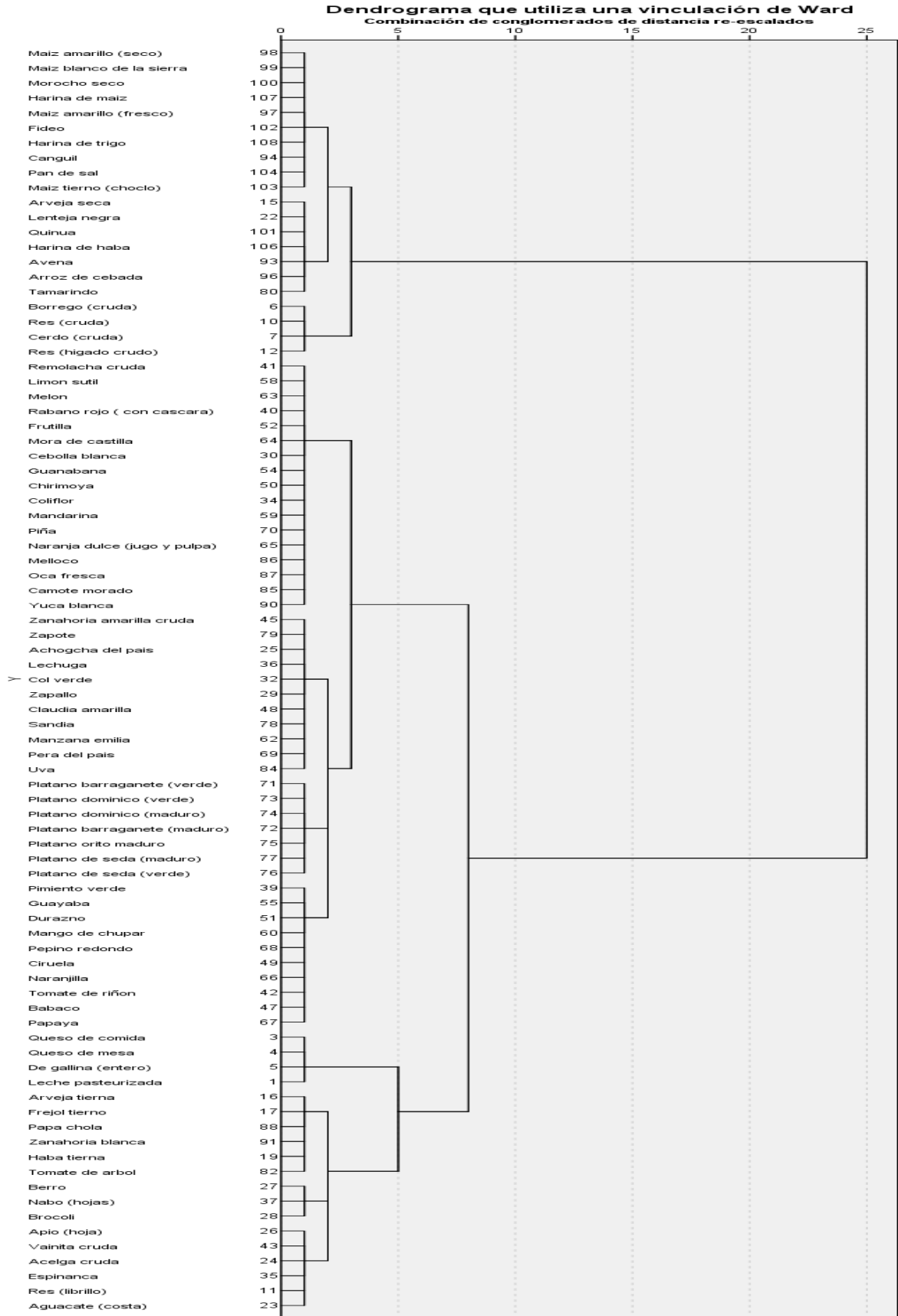


Figura 3-8 Dendrograma y clasificación de los diferentes alimentos
Fuente: Elaborado por el autor

Otra parte importante la cual es la base central de la clasificación es el dendograma, en donde se muestran todos los alimentos unidos mediante líneas verticales y horizontales, indicándonos los posibles clústers en los que se puede agrupar los alimentos. El SPSS nos da la opción de guardar los resultados en varios conglomerados, en nuestro caso se decidió guardar la clasificación en 3, 4 5 y 6 grupos para poder analizar cuál de ellos es el más apropiado y discrimina de mejor manera a cada alimento en cuestión.

3.5.2.4 Validación de resultados

Una vez realizada la clasificación es importante dar validez a los resultados obtenidos, en este caso poder decidir la cantidad de conglomerados en la que se debería agrupar a la base de alimentos en cuestión.

Al analizar los resultados que arroja el SPSS 21 se pudo observar que la clasificación en 6 grupos parece la más idónea, razón por la cual se tomó esta clasificación con la finalidad de validar los resultados y decidir si la categorización es la correcta.

Para ello se realizó un Análisis discriminante, el cual ayuda a detectar si existen diferencias significativas entre grupos de objetos respecto a un conjunto de variables y, en el caso de que existan poder explicar en qué forma se dan estas diferencias, para posteriormente facilitar procesos de clasificación de nuevas observaciones.

En principio es requerido que se cumplan algunos supuestos necesarios para el análisis discriminante, los cuales son:

- Contar con al menos dos grupos, en los cuales deberán figurar dos o más casos.
- Ninguna variable discriminante debe ser combinación lineal de las otras variables.
- Las matrices de covarianzas dentro de los grupos deben ser aproximadamente iguales.

Al final se busca obtener una función o un grupo de funciones discriminantes las cuales faciliten la clasificación de casos en los diferentes grupos utilizando una combinación lineal de las variables explicativas incluidas en el análisis.

En principio es necesario elegir la variable de agrupación o categórica, en nuestro caso se utilizó los resultados de clasificación para 6 grupos, a continuación se eligen las variables independientes que para nuestro caso son los nutrientes de cada alimento.

La construcción de las funciones lineales se la realiza con las variables seleccionadas, sin embargo no todas las variables tienen el mismo poder discriminante, por lo que no es necesario incluirlas a todas dentro de la función. Como criterio de selección se emplean los valores de las pruebas F de Snedecor o de la λ de Wilks y los métodos directo y paso a paso.

En el método directo se utilizan todas las variables iniciales que verifiquen un criterio de selección. En el método paso a paso o stepwise se va incluyendo la variable que tenga un mayor valor del criterio de selección en el análisis, luego examina las variables según un criterio de salida y se van excluyendo si cumplen con el mismo, este proceso se efectúa hasta que ninguna variable pueda ser seleccionada o eliminada del proceso. Indistintamente, en nuestro caso se utilizará cualquier método en motivo de que no se desea incluir nuevos casos a los grupos utilizando las funciones discriminantes, sino únicamente verificar la pertenencia de cada uno de los alimentos a los grupos obtenidos mediante la clasificación por conglomerados.

Nuevamente se utilizó el software SPSS para realizar el análisis, en el cual se incluyeron las pruebas estadísticas para verificar la validez del modelo; los resultados se muestran a continuación:

	Lambda de Wilks	F	df1	df2	Sig.
Calorías	.164	80.462	5	79	.000
Proteínas	.285	39.659	5	79	.000
Grasas	.439	20.227	5	79	.000
Carbohidratos	.203	62.051	5	79	.000
Calcio	.476	17.379	5	79	.000
Fosforo	.248	48.004	5	79	.000
Hierro	.567	12.061	5	79	.000
Caroteno	.915	1.475	5	79	.207
Tiamina	.400	23.722	5	79	.000
Riboflav	.680	7.422	5	79	.000
Niacina	.335	31.356	5	79	.000
Acido ascórbico	.779	4.477	5	79	.001

Tabla 3-10 Prueba de igualdad de medias de grupos para las variables
Fuente: Elaborado por el autor

La prueba de igualdad de medias se utiliza como una prueba preliminar para determinar si los grupos se ven influenciados por alguna variable de clasificación seleccionada, la hipótesis nula indica que los grupos en media son iguales; se puede observar que para casi todas la variables se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias (p valor < 0.05), excepto para el caroteno cuyo valor es mayor a 0.05, de esto podemos concluir que esta variable no debería tener una gran influencia a la hora de clasificar una observación en uno u otro grupo.

A continuación se muestra la Prueba M de box para verificar si se cumple el supuesto de homocedasticidad (matrices de covarianzas sean iguales dentro de los grupos).

M de Box	680.021
F	Aprox. 13.072
df1	45
df2	9455.304
Sig.	.000

Prueba la hipótesis nula de las matrices de covarianzas de población iguales.

Figura 3-9 Prueba M de Box de igualdad de matrices
Fuente: Elaborado por el autor

El nivel de significación de la prueba es de 0.000 con lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de las matrices de covarianzas.

Lambda de Wilks													
Escalón	Número de variables	Lambda	df1	df2	df3	F exacta				F aproximada			
						Estadístico	df1	df2	Sig.	Estadístico	df1	df2	Sig.
1	1	.164	1	5	79	80.462	5	79.000	.000				
2	2	.051	2	5	79	53.678	10	156.000	.000				
3	3	.020	3	5	79					44.353	15	212.964	.000
4	4	.014	4	5	79					32.910	20	253.013	.000
5	5	.011	5	5	79					26.333	25	280.115	.000

Tabla 3-11 Prueba de significación para los ejes discriminantes

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla anterior se contrasta la significación para los ejes discriminantes, la hipótesis nula nos dice que ninguno de los ejes de discriminación es significativo, como se puede observar el p valor < 0.05, por lo cual al rechazarse la hipótesis nula se puede utilizar todos los ejes para predecir el comportamiento de un nuevo caso y de esta forma vincularlo a un grupo específico. De no rechazarse la hipótesis nula se recomienda no continuar con el análisis, pues al no ser significativos los ejes se concluye que las variables no tienen poder explicativo sobre los grupos creados.

Coefficientes de función de clasificación

	Ward Method					
	1	2	3	4	5	6
Calorias	.173	.205	.010	.104	-.003	-.005
Carbohidratos	-.566	-.877	.029	.127	.156	.139
Calcio	.064	-.028	.018	-.001	.007	.010
Tiamina	-14.408	11.645	10.885	18.184	1.842	3.040
Niacina	.335	5.750	1.113	.867	.172	.173
(Constante)	-24.018	-41.052	-4.455	-26.911	-3.170	-2.831

Funciones discriminantes lineales de Fisher

Tabla 3-12 Coeficientes de las funciones discriminantes

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla anterior se muestra los coeficientes de las funciones de clasificación, mediante las cuales se podrá incluir un nuevo alimento dentro de cada grupo, esto se lo puede realizar reemplazando los valores de las variables en cada una de las funciones de discriminación y se le asigna el grupo en cuya función haya alcanzado el mayor valor.

Finalmente el programa nos muestra los resultados de clasificación, los cuales indican que el 71.8% de los casos (alimentos) originales se clasificaron correctamente.

Con el objetivo de presentar mejores resultados en la clasificación y al observar que la variable caroteno no debería tener gran influencia al clasificar los grupos se decidió eliminarla, tanto del análisis por conglomerados como del discriminante.

En el caso del análisis por conglomerados se utilizaron las mismas variables excepto la eliminada (caroteno), con ello se pudo reducir el número de datos perdidos como se muestra en la tabla siguiente:

Resumen del procesamiento de los casos^{a,b}

Casos					
Válidos		Perdidos		Total	
N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
101	92,7	8	7,3	109	100,0

a. distancia euclídea al cuadrado usada

b. Vinculación de Ward

Tabla 3-13 Resumen sin la variable caroteno

Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede observar los valores perdidos han disminuido a 8, pues con la eliminación de la variable caroteno las transformaciones realizadas para evitar asimetría y valores atípicos dejan de tomar valores 0 que son los causantes de la pérdida de datos en la distribución. Ejecutado lo anterior, se realizó una nueva clasificación igualmente para 3, 4 5, y 6 conglomerados. El dendograma obtenido fue el siguiente:

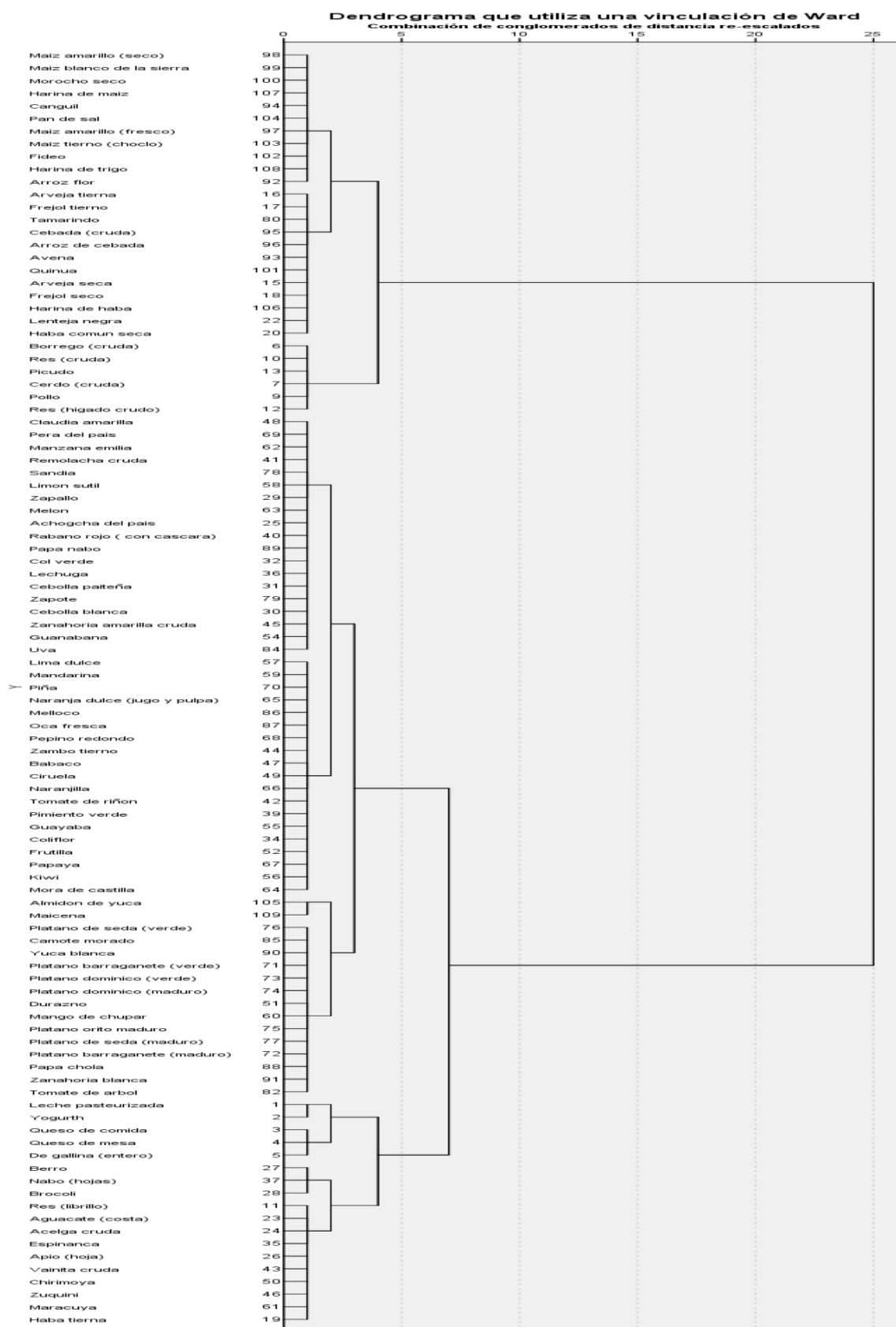


Figura 3-10 Dendrograma y clasificación sin la variable caroteno

Fuente: Elaborado por el autor

Nuevamente se decidió tomar en cuenta los resultados de la clasificación para 6 grupos, que fue la que presentó una mayor homogeneidad, e incluyeron algunos alimentos en los grupos que tenían menor número de ellos debido a la pérdida de los datos.

Para comprobar la fidelidad de los resultados obtenidos nuevamente se realizó un análisis discriminante para verificar si se obtuvo una mayor cantidad de alimentos asignados correctamente a cada uno de los grupos creados en el análisis de clústers. Previamente se verificarán nuevamente las principales hipótesis del análisis discriminante para poder validar estadísticamente los resultados obtenidos. Una de las principales hipótesis es la de igualdad de las matrices de varianzas y covarianzas contrastada mediante la prueba M de Box, la cual se muestra en el cuadro siguiente:

Resultados de la prueba^a

M de Box		822,185
F	Aprox.	10,804
	gl1	60
	gl2	2092,590
	Sig.	,000

Contrasta la hipótesis nula de que las matrices de covarianzas poblacionales son iguales.

Tabla 3-14 Prueba M de Box sin la variable caroteno

Fuente: Elaborado por el autor

En este caso también se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que las matrices de varianzas y covarianzas correspondientes a cada grupo son diferentes. A pesar de ello el análisis discriminante tiene la característica de ser una técnica robusta, y en la práctica funciona de manera correcta a pesar de que esta restricción no se cumpla a cabalidad.

Las funciones de discriminación para las cuales se rechaza la hipótesis nula de no significación de los ejes discriminantes se muestran a continuación:

Lambda de Wilks

Paso	Número de variables	Lambda	gl1	gl2	gl3	F exacta				F aproximada			
						Estadístico	gl1	gl2	Sig.	Estadístico	gl1	gl2	Sig.
1	1	,202	1	5	95	74,876	5	95,000	,000				
2	2	,066	2	5	95	54,648	10	188,000	,000				
3	3	,034	3	5	95					41,241	15	257,133	,000
4	4	,020	4	5	95					34,326	20	306,079	,000
5	5	,013	5	5	95					29,724	25	339,552	,000

Tabla 3-15 Prueba de significación ejes discriminantes sin caroteno

Fuente: Elaborado por el autor

Se observa que el valor p para cada una de ellas es inferior a 0.05, lo que nos indica que se puede usar todos los ejes para predecir en que grupo debería ir un nuevo caso que se desee incorporar. Esta prueba de significación es de vital importancia debido a que si se acepta la hipótesis nula nos indicaría que las variables analizadas no tiene poder discriminante para clasificar correctamente a cada caso estudiado y posteriores que se deseen incluir.

Coefficientes de función de clasificación

	Ward Method					
	1	2	3	4	5	6
Calorias	.112	.194	.003	.061	-.009	-.007
Carbohidratos	-.379	-.755	.043	.194	.110	.268
Calcio	.065	-.042	.020	-.006	.008	.007
Tiamina	-11.800	6.718	8.814	40.573	5.891	10.225
Niacina	.120	3.147	.439	.831	.143	.253
(Constante)	-17.346	-30.133	-3.319	-25.403	-2.395	-6.525

Funciones discriminantes lineales de Fisher

Tabla 3-16 Coeficientes de las funciones discriminantes sin caroteno

Fuente: Elaborado por el autor

Nuevamente se muestran las variables que explican las 6 funciones de clasificación, que permitirán agregar nuevos casos a los diferentes grupos obtenidos, dependiendo de la función en la cual el nuevo alimento a incluir tome el mayor valor.

En esta ocasión al haber prescindido de la variable caroteno los resultados son mucho más satisfactorios, pues el porcentaje de alimentos clasificados

correctamente es ahora de 88.1% para 6 grupos que fueron definidos al realizar el análisis de conglomerados.

De lo anterior podemos deducir que la presente clasificación en grupos de alimentos es más que aceptable, lo cual fue corroborado con el análisis discriminante que presentó resultados similares al análisis por conglomerados. Además de ello, esta prueba final permitió clasificar los alimentos que aparecían como casos perdidos reubicándolos en cada uno de los grupos creados.

La clasificación multivariante realizada con anterioridad se utilizará posteriormente, según sea requerido, para poder reemplazar alimentos con similares características en la dieta generada con la finalidad de brindar varias alternativas, distintas entre sí, a los CIBV para cada día de la semana, siempre tratando de cumplir con los ciclos que propone la Subsecretaría de Desarrollo Infantil en cuanto a la provisión de alimentos.

3.6 FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE DIETAS

En primera instancia se planteó la formulación de un modelo de programación lineal mutiperíodo estacional para poder minimizar el costo de adquisición y maximizar el aporte nutricional en cada dieta a proponer, sin embargo, como se mostró anteriormente los precios no tenían una clara tendencia en cada una de las zonas analizadas y no diferían mucho entre provincias, además de que la información para cada región no era muy clara y suficiente, motivo de ello se decidió únicamente realizar un modelo en base al clásico de la dieta de Stigler, añadiendo ciertas variaciones, restricciones y correcciones no consideradas a cabalidad en las dietas propuestas por la Subsecretaría de Desarrollo Infantil.

Una vez indicado lo anterior a continuación se detalla la construcción y formulación del modelo aplicando los fundamentos teóricos explicados en el capítulo anterior.

3.6.1 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE DECISIÓN Y PARÁMETROS

La primera etapa en la formulación de un modelo de programación lineal consiste en definir las variables de decisión que serán utilizadas en la construcción de la función objetivo y restricciones; en nuestro caso necesitamos una variable que involucre las porciones de cada alimento que se debe consumir según los requerimientos nutricionales de cada uno de ellos. Para ello se define previamente a I como el conjunto de alimentos. Una vez creado este conjunto a continuación definimos nuestra variable de decisión como sigue:

x_i : Porciones a consumir del alimento i .

En motivo de que se trabajará con 109 alimentos $i = 1, 2, \dots, 109$.

Adicionalmente, definimos los parámetros o valores conocidos necesarios:

c_i : Costo de cada alimento i .

Macro nutrientes en los alimentos

a_i : Cantidad de calorías en cada alimento i .

b_i : Cantidad de proteínas en cada alimento i .

d_i : Cantidad de grasa en cada alimento i .

e_i : Cantidad de carbohidratos en cada alimento i .

Micronutrientes en los alimentos

f_i : Cantidad de calcio en cada alimento i .

g_i : Cantidad de fósforo en cada alimento i .

h_i : Cantidad de hierro en cada alimento i .

k_i : Cantidad de caroteno en cada alimento i .

m_i : Cantidad de tiamina en cada alimento i .

n_i : Cantidad de riboflavina en cada alimento i .

p_i : Cantidad de niacina en cada alimento i .

s_i : Cantidad de vitaminaC en cada alimento i .

3.6.2 CONSTRUCCIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

Para formular nuestra función objetivo necesitamos: la variable definida anteriormente, una función lineal Z dependiente de dicha variable y el parámetro a minimizar (en nuestro caso el costo de cada alimento i); esta se indica a continuación:

$$\text{Minimizar } Z(x) = \sum_{i=1}^{109} c_i x_i$$

Las restricciones asociadas a la función objetivo se construyeron en base a los requerimientos nutricionales recomendados para niños entre 1 y 3 años, redactados en capítulos anteriores detalladamente y tomando en cuenta únicamente el 70% de aporte nutricional establecido en los lineamientos de planificación de la Subsecretaria de Desarrollo Infantil. Para garantizar este porcentaje se tomó los intervalos recomendados y se tomó el 70% de los valores de los límites inferiores de cada nutriente (tanto macro como micro nutrientes) exceptuando las calorías, pues es detallado claramente que su límite inferior deber de ser de 1075. De esta forma se plantearon las restricciones indicadas a continuación.

3.6.3 RESTRICCIONES DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL

Calorías: la ingesta recomendada de calorías se encuentra entre 1075 y 1300 de donde surge la restricción:

$$1075 \leq \sum_{i=1}^{109} a_i x_i \leq 1300$$

Proteínas: se recomienda para el grupo de edad en estudio que la cantidad de proteínas a ingerir este entre 9 y 40 gramos:

$$9 \leq \sum_{i=1}^{109} b_i x_i \leq 40$$

Grasa: en este caso es recomendable un consumo de entre 35 a 500 miligramos diarios en los infantes, de ello, la restricción queda como sigue:

$$35 \leq \sum_{i=1}^{109} d_i x_i \leq 500$$

Carbohidratos: el intervalo que corresponde al consumo de carbohidratos recomendado para este grupo es de entre 91 y 162 gramos por día:

$$91 \leq \sum_{i=1}^{109} e_i x_i \leq 162$$

El problema original de la dieta de Stigler únicamente considera las restricciones correspondientes a calorías, proteínas, grasa y carbohidratos, en este estudio se consideran algunos micronutrientes de los que se posee información respecto a todos los alimentos.

Calcio: los límites de consumo para este nutriente son entre 490 y 2500 miligramos de donde tenemos:

$$490 \leq \sum_{i=1}^{109} f_i x_i \leq 2500$$

Fósforo: los requerimientos para este nutriente deben encontrarse entre los valores de 322 y 3000 miligramos:

$$322 \leq \sum_{i=1}^{109} g_i x_i \leq 3000$$

Hierro: el consumo de hierro recomendado deber tener un mínimo de 5 mg y un máximo de 40 mg, por lo que la restricción se expresa como:

$$5 \leq \sum_{i=1}^{109} h_i x_i \leq 40$$

Caroteno: los límites de caroteno que deben figurar en una dieta para los infantes son de 0 y 100 miligramos:

$$0 \leq \sum_{i=1}^{109} k_i x_i \leq 100$$

Tiamina (Vitamina B1): de igual forma la ingesta recomendada diaria debe estar entre 0.35 y 10 miligramos, la restricción queda como:

$$0.35 \leq \sum_{i=1}^{109} m_i x_i \leq 10$$

Riboflavina (Vitamina B2): similarmente que en el caso anterior, los límites de consumo se encuentran entre 0.35 y 10 miligramos:

$$0.35 \leq \sum_{i=1}^{109} n_i x_i \leq 10$$

Niacina: el consumo de este micronutriente presenta límites entre 4.2 y 10 miligramos al día, de donde:

$$4.2 \leq \sum_{i=1}^{109} p_i x_i \leq 10$$

En el caso de los micronutrientes caroteno, tiamina, riboflavina, y niacina y, según el estudio realizado en el *Dietary References Intake* no se presentaban efectos adversos al ingerir cantidades altas en los alimentos, sin embargo para efectos de construir el modelo se les impuso un límite superior de 10 miligramos para cada uno de ellos.

Vitamina C: finalmente los límites de vitamina C recomendados son de entre 11 y 280 miligramos al día, nuestra restricción quedaría entonces como:

$$11 \leq \sum_{i=1}^{109} k_i x_i \leq 400$$

Según requerimientos de la Subsecretaria en los cuales se indicaba que el aporte calórico de las proteínas debe estar entre el 12% y 15%, el de grasas entre 25% y 30% y de los carbohidratos entre el 55% y 60%, y en vista de que durante el análisis de las dietas que se brindan actualmente a los CIBV los aportes de estos macro nutrientes no se encuentran entre los límites planteados, se decidió crear un grupo de restricciones con el fin de balancear el aporte de calorías de acuerdo a cada tipo de macronutriente; este grupo se presenta a continuación:

$$0.12 \sum_{i=1}^{109} a_i x_i \leq 4.13 \sum_{i=1}^{109} b_i x_i \leq 0.15 \sum_{i=1}^{109} a_i x_i$$

En la restricción anterior el valor de 4.13 es el factor de transformación o equivalencia entre proteínas y calorías. Esta ecuación garantiza que la suma total de proteínas de la dieta en el día tenga un aporte calórico entre el 12% y 15% de las calorías totales.

La restricción que balancea el aporte calórico de la grasa a la dieta es la siguiente:

$$0.25 \sum_{i=1}^{109} a_i x_i \leq 9.26 \sum_{i=1}^{109} d_i x_i \leq 0.30 \sum_{i=1}^{109} a_i x_i$$

Nuevamente el valor de 9.26 es el coeficiente de equivalencia entre grasa y calorías. Esta restricción garantiza que las calorías de la grasa se encuentren entre el 25 y 30% de las calorías totales.

Finalmente la restricción de aporte calórico de carbohidratos que garantiza que éstos últimos se encuentren entre el 55% y 60% es:

$$0.55 \sum_{i=1}^{109} a_i x_i \leq 4.13 \sum_{i=1}^{109} e_i x_i \leq 0.6 \sum_{i=1}^{109} a_i x_i$$

De igual forma que en los casos anteriores el número 4.13 es el coeficiente de transformación de carbohidratos a calorías. Al igual que en casos anteriores, la restricción precedente limita las calorías de los carbohidratos entre el 55 y 60% de las calorías totales.

Para evitar que se escoja una cantidad alta de porciones de un solo alimento para formar la dieta, se construyó un intervalo en el cual se debe elegir la cantidad de porciones de los alimentos que puede escoger el modelo para calcular la dieta, los límites que se establecieron fueron de mínimo 1 porciones y máximo 5 porciones. Por ello se planteó la siguiente restricción con el fin mantener un equilibrio entre las porciones alimenticias:

$$0 \leq x_i \leq 5$$

Con el modelo ya enunciado se procedió a resolverlo y ajustarlo según a los requerimientos que fueron solicitados por la Subsecretaria de Desarrollo Infantil. Las pruebas computacionales realizadas, así como los resultados preliminares que dieron las pautas para corregir la formulación anterior, se muestran en la siguiente parte de este capítulo.

3.7 AJUSTE Y ANÁLISIS DEL MODELO DE COSTO MÍNIMO

Una vez formulado el problema se utilizó el software SCIP para encontrar un primer conjunto de soluciones y con ello proceder a ajustar las restricciones y el modelo en caso de ser necesario; los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Variable	Alimento	Cantidad(en porciones)	Precio por porción
x#2	Yogurth	0.305799633	(obj:0.18)
x#43	Nabo	0.312755614	(obj:0.04)
x#52	Zuquini	0.463406368	(obj:0.04)
x#86	Plátano seda	3.546829324	(obj:0.01)
x#112	Choclo	0.233905251	(obj:0.14)
x#115	Aceite	0.055019924	(obj:0.2)
Valor de la función objetivo			\$ 0.17

Tabla 3-17 Solución real modelo costo mínimo

Fuente: Elaborado por el autor

En la primera columna de la tabla anterior se presenta el número de la variable, seguidamente el alimento correspondiente, la cantidad en porciones y precio por cada una de ellas.

Como se puede observar únicamente en la solución se dan 6 alimentos, con lo cual resulta prácticamente imposible realizar 4 comidas en un día, además sumado al tamaño pequeño de las porciones para cada alimento. En cuanto al costo, éste se encuentra muy debajo del límite proporcionado por la Subsecretaría de Desarrollo Infantil, por lo que es necesario definir nuevos parámetros con el fin de ajustar el modelo.

En primer lugar y para evitar el problema de las porciones pequeñas se decidió establecer que las variables de decisión tomen valores enteros, pues en algunos casos las porciones resultan ser tan pequeñas causando que se presenten inconvenientes al momento de cuantificar las mismas para incluirlas en alguna preparación. Realizado esto, se volvió a resolver el modelo utilizando las mismas restricciones, cambiando únicamente el carácter de las variables de real a enteras, obteniéndose:

Variable	Alimento	Cantidad(en porciones)	Precio por porción
x#1	Leche	1 (obj:0.08)	
x#39	Col verde	5 (obj:0.02)	
x#43	Nabo	1 (obj:0.04)	
x#52	Zuquini	1 (obj:0.04)	
x#53	Aguacate	1 (obj:0.08)	
x#66	Limón	3 (obj:0.04)	
x#86	Plátano seda maduro	1 (obj:0.01)	
Valor de la función objetivo			\$ 0.55

Tabla 3-18 Solución entera modelo costo mínimo

Fuente: Elaborado por el autor

Nuevamente obtenemos una solución que si bien presenta porciones enteras para cada alimento, aún se mantienen los problemas de pocos alimentos y costo subestimado. Como en el caso anterior, no se pueden preparar las cuatro comidas solicitadas en un día con la solución arrojada por el programa, además contiene en su mayoría verduras y frutas lo que no garantiza una variedad en las dietas. En este punto es necesario considerar otro aspecto importante; según los lineamientos propuestos por la Subsecretaría, se debe brindar ciertos alimentos en una semana, por ejemplo, la leche debe ser suministrada todos los días de la semana, o bien se la puede reemplazar por yogurt, la carne debe ser al menos tres veces a la semana, las legumbres de igual forma, etc. Es por ello que resulta conveniente controlar estos aspectos y al mismo tiempo proporcionar una mayor variedad de alimentos en cada día de una semana específica.

Para esto se volvió a cambiar una vez más el carácter de la variable de decisión, definiéndola en función de la cantidad de porciones de alimentos y de los días de la semana, de lo anterior quedó finalmente representada de la siguiente forma:

x_{ij} : Porción del alimento i en el día j $i=1,2,\dots, 109$ y $j=1,\dots, 5$

Una vez cambiado el carácter de la variable de decisión es necesario reformular el modelo incluyendo la nueva variable de decisión definida para una semana laboral y los alimentos considerados en el estudio:

$$\text{Minimizar } Z(x) = \sum_{i=1}^{109} \sum_{j=1}^5 c_i x_{ij}$$

Sujeto a:

Calorías

$$1075 \leq \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 1300; \quad \forall j$$

Proteínas:

$$9 \leq \sum_{i=1}^{109} b_i x_{ij} \leq 40; \quad \forall j$$

Grasa

$$35 \leq \sum_{i=1}^{109} d_i x_{ij} \leq 500; \quad \forall j$$

Carbohidratos

$$91 \leq \sum_{i=1}^{109} e_i x_{ij} \leq 162; \quad \forall j$$

Calcio

$$490 \leq \sum_{i=1}^{109} f_i x_{ij} \leq 2500; \quad \forall j$$

Fósforo

$$322 \leq \sum_{i=1}^{109} g_i x_{ij} \leq 3000; \quad \forall j$$

Hierro

$$5 \leq \sum_{i=1}^{109} h_i x_{ij} \leq 40; \quad \forall j$$

Caroteno

$$0 \leq \sum_{i=1}^{109} k_i x_{ij} \leq 100; \quad \forall j$$

Tiamina (Vitamina B1)

$$0.35 \leq \sum_{i=1}^{109} m_i x_{ij} \leq 10; \quad \forall j$$

Riboflavina (Vitamina B2)

$$0.35 \leq \sum_{i=1}^{109} n_i x_{ij} \leq 10; \quad \forall j$$

Niacina

$$4.2 \leq \sum_{i=1}^{109} p_i x_{ij} \leq 10; \quad \forall j$$

VitaminaC

$$11 \leq \sum_{i=1}^{109} k_i x_{ij} \leq 400; \quad \forall j$$

Restricciones de balance

$$0.12 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 4.13 \sum_{i=1}^{109} b_i x_{ij} \leq 0.15 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij}; \quad \forall j$$

$$0.25 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 9.26 \sum_{i=1}^{109} d_i x_{ij} \leq 0.30 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij}; \quad \forall j$$

$$0.55 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 4.13 \sum_{i=1}^{109} e_i x_{ij} \leq 0.6 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij}; \quad \forall j$$

La función objetivo y restricciones son las mismas que en el modelo anterior, con la diferencia que se agregó una componente adicional a la variable de decisión que es el número de días que atienden los CIBV en una semana laboral, adicionalmente se disminuyó el número de porciones de alimentos de 5 a 3. Así mismo se mantuvo la variable de decisión como entera para evitar los problemas encontrados anteriormente.

Al utilizar este nuevo modelo, se decidió buscar las soluciones que muestra el programa SCIP en motivo de verificar y analizar las mismas, posteriormente incluir restricciones para controlar que los resultados arrojen dietas que incluyan alimentos requeridos para que éstas se encuentren adecuadamente balanceadas.

Lunes	Porcion	Martes	Porcion	Miercoles	Porcion	Jueves	Porcion	Viernes	Porcion
Leche	2	Leche	2	Leche	2	Leche	2	Leche	2
Haba seca	1	Haba seca	1	Haba seca	1	Haba seca	1	Haba seca	1
Col	3	Col	3	Col	3	Col	3	Col	3
Nabo	1	Nabo	1	Nabo	1	Nabo	1	Nabo	1
Zuquini	2	Zuquini	2	Zuquini	3	Zuquini	2	Zuquini	2
Avena	2	Avena	2	Avena	2	Avena	2	Avena	2
Maíz amarillo	1	Maíz amar	1	Maíz amari	2	Maíz amarillo	1	Maíz amar	1
Choclo	2	Choclo	2	Pan	1	Choclo	2	Choclo	2
Pan	1	Pan	1			Pan	1	Pan	1

Tabla 3-19 Dieta semanal entera

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla anterior podemos observar que los resultados nos muestran las porciones a consumir de cada alimento por día, ésta dieta tiene un costo de \$0.50 por día y por niño. Igualmente que en el caso anterior continúan los problemas en nuestra solución, pues se cuenta con pocos alimentos en cada día, nuevamente, sin incluir los requeridos que se solicitan en una semana según los lineamientos proporcionados.

Por ello se construyó un nuevo conjunto de restricciones en base a la tabla suministrada por la Subsecretaria de Desarrollo Infantil donde se enuncian las porciones de alimentos que deben suministrarse todas las semanas. Estas restricciones se encuentran relacionadas a los diferentes alimentos que deben formar parte de las dietas en la semana.

3.7.1 RESTRICCIONES DE VARIEDAD

A continuación se describe la formulación de este conjunto de restricciones para incluir variedad, las mismas que se definen de la siguiente manera:

Para el caso de la leche está establecido que se debe suministrar todos los días de la semana pudiendo reemplazarse con yogurt:

$$x_{2,j} + x_{1,j} = 1; \quad \forall j$$

Esta ecuación nos indican que se puede escoger uno de los dos lácteos una vez al día, durante toda la semana, se debe tomar en cuenta que la leche y el yogurt se encuentran en las dos primeras posiciones de la base de datos a utilizar.

Una necesidad de alimentos que deben ser incluidos en la dieta semanal hace referencia a huevos, estos deben suministrarse entre 2 y 3 unidades por semana; según lo anterior definimos nuestra restricción como sigue:

$$2 \leq \sum_{j=1}^5 x_{5j} \leq 3$$

Las carnes y pescados deben ser consumidos al menos tres veces por semana, por ello se plantea la siguiente restricción:

$$\sum_{i=6}^{14} \sum_{j=1}^5 x_{ij} \geq 3$$

Vale aclarar que las carnes y pescados se han agrupado en un conjunto comprendido entre los alimentos 6 y 14 de la base utilizada.

Otro tipo de recomendación se la hace en cuanto a las leguminosas, verduras, frutas, tubérculos, cereales y harinas en general, por lo que para estos casos de grupos de alimentos se construyeron restricciones específicas uniéndolos en conjuntos de acuerdo a cómo se encuentran ubicados en la base de datos construida. Para las leguminosas se tiene:

$$\sum_{i=15}^{22} x_{ij} \geq 1; \quad \forall j$$

Esta desigualdad garantiza que durante una semana determinada se tome en cuenta al menos una vez el tipo de legumbre i en cada día de la semana en cuestión.

En cuanto a las verduras, se planteó que para cada día se escojan al menos tres diferentes, representado matemáticamente se tiene:

$$1 \leq \sum_{i=23}^{46} x_{ij} \leq 3; \quad \forall j$$

Para las frutas es requerido que estas sean suministradas de dos a tres veces en el día, tanto como refrigerio, en coladas y jugos, por lo tanto se debe escoger diferentes frutas en un día y variarlas durante el transcurso de la semana. La restricción asociada es la siguiente:

$$\sum_{i=47}^{84} x_{ij} \geq 3; \quad \forall j$$

En otra categoría de alimentos se encuentran los tubérculos, que según se indicó su ingesta debe ser diaria. Para controlar este grupo se plantea la desigualdad:

$$\sum_{i=85}^{91} x_{ij} \geq 1; \quad \forall j$$

Para el grupo de cereales se construyó la restricción de forma similar que en el caso anterior, cambiando únicamente los lugares que ocupan los cereales en la base y los límites de consumo:

$$2 \leq \sum_{i=92}^{104} x_{ij} \leq 5; \quad \forall j$$

Finalmente para las harinas se determinó la siguiente restricción:

$$\sum_{i=105}^{109} x_{ij} \geq 3; \quad \forall j$$

Una vez definido este nuevo grupo de condicionantes al modelo se decidió resolverlo para observar su factibilidad, sin embargo, al utilizar todo el nuevo conjunto de restricciones, mismas que sumadas a las anteriores, dió como resultado la no factibilidad del modelo descrito.

Para solucionar este inconveniente en primer lugar se mantuvo el grupo de restricciones correspondientes a las cotas tanto de macro y micronutrientes además las de balance entre cantidades de cada macronutriente que debe aportar al consumo de calorías diarias. Luego, mediante el método de ensayo y error, se fue incluyendo cada restricción formando combinaciones entre ellas y verificando en cada paso que en principio el modelo sea factible, después que las dietas sean lo más variadas posibles y finalmente que incluyan los alimentos necesarios para la elaboración de 4 comidas por cada día, sin embargo al intentar resolver este nuevo modelo se reflejó nuevamente la infactibilidad del mismo. Por este motivo y en busca de mejorar las soluciones obtenidas con modelos anteriores se decidió cambiar los límites en las restricciones de variedad. Se realizó entonces nuevamente el procedimiento anteriormente descrito logrando encontrar una solución óptima, misma que se muestra a continuación:

Lunes	Porción	Martes	Porción	Miércoles	Porción	Jueves	Porción	Viernes	Porción
Leche	1	Leche	1	Leche	1	Leche	1	Leche	1
Queso	1	Huevos	2	Queso	1	Huevos	1	Queso	1
Librillo	1	Aguacate	1	Carne de cer	1	Haba seca	1	Librillo	1
Aguacate	1	Nabo	2	Aguacate	1	Aguacate	1	Aguacate	1
Zuquini	2	Kiwi	1	Zuquini	1	Nabo	3	Zuquini	2
Limon	1	Plátano verd	1	Guayaba	1	Kiwi	1	Piña	1
Piña	1	Papanabo	1	Piña	1	Piña	1	Plátano verde	1
Papanabo	1	Yuca	2	Oca	1	Papanabo	2	Papanabo	1
Arroz	1	Arroz de ceb	2	Papanabo	1	Yuca	1	Arroz	1
Choclo	1			Yuca	1	Avena	1	Choclo	1
Pan	1			Maiz amarill	2	Pan	1	Pan	1
Almidón de yuca	2			Almidón de y	1	Almidón de yuca	1	Almidón de yuca	1
				Maicena	2				

Tabla 3-20 Solución entera incluyendo restricciones de variedad

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla anterior se puede ver que existe una mayor variedad en cuanto a tipos de alimentos. El costo asociado a esta dieta fue de \$ 5.14 lo cual representa \$1.03 al día. Esta elevación de precio se debe a todas las restricciones adicionales que se incluyen en el modelo, recordando que las dietas proporcionadas actualmente en los CIBV están descompensadas en cuanto a macronutrientes, por lo que el modelo en este caso ha elevado el costo para poder dar cumplimiento a las restricciones de nutrientes y de balance.

Para tener una mayor cantidad de alimentos en la solución se decidió eliminar la restricción correspondiente a límites de porciones de alimentos y realizar una nueva modificación a la variable de decisión, cambiándola de entera a binaria, definida a continuación:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1: \text{si se escoge la porción de alimento } i \text{ en el día } j \\ 0: \text{caso contrario} \end{cases}$$

Con la definición anterior se garantiza que únicamente se escogerá una porción de cada alimento tal que se minimice la función objetivo.

Posteriormente se realizaron las pruebas computacionales respectivas, incluyendo y excluyendo restricciones como se mencionó con anterioridad, con el fin de garantizar una mayor variedad de alimentos en cada una de las dietas, ya que es imposible incluir todo el último conjunto de restricciones manteniendo la factibilidad del modelo.

Luego de varias pruebas con diferentes modelos finalmente se escogió el que más restricciones de variedad permitía incluir antes de que sea infactible, además se comprobó que presentara una mayor variedad en comparación al resto de modelos desarrollados y que finalmente tenga la cantidad adecuada de alimentos para la elaboración de dietas. Las restricciones de variedad consideradas fueron las siguientes:

- Leche o yogurt: todos los días.
- Verduras: al menos 4 al día.
- Frutas: al menos 4 al día.
- Carnes: al menos tres porciones por semana.
- Cereales: entre 4 y porciones al día.
- Arroz: al menos 4 veces a la semana.
- Huevos: entre dos y 3 unidades por semana.
- Harinas: al menos 3 porciones a la semana.

Al incluir las restricciones indicadas anteriormente se está garantizando una considerable variedad en la solución que muestre el modelo, pues se incluyen la mayoría de alimentos que constan en los lineamientos de planificación alimenticia requeridos en los CIBV.

En el siguiente capítulo se realiza una descripción sintetizada del modelo final formulado a manera de resumen y se muestran los resultados que se obtuvieron como producto principal de la investigación.

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el capítulo anterior se realizaron diversas formulaciones del modelo de costo mínimo, el cual se fue corrigiendo de acuerdo a los problemas que se presentaban y ajustando a las necesidades de la investigación. En la primera parte de este capítulo se resume la formulación final del modelo de costo mínimo, mismo que se utilizó para encontrar las soluciones que se muestran posteriormente. Luego se realiza una comparación entre resultados para finalmente un ejemplo de dieta con su respectivo costo, mismo que se propone implementar en los CIBV.

4.1 RESUMEN MODELO FINAL DE COSTO MÍNIMO

En la medida en la que se iban realizando las pruebas computacionales del modelo se pudo determinar que, por motivos de infactibilidad, no era posible incluir todas las restricciones de variedad en alimentos dentro del mismo. Sin embargo, y a pesar de ello, se pudo encontrar un modelo en donde no se incluyen todas las restricciones propuestas pero aun así presenta una variedad considerable en lo que se refiere a alimentos. El modelo final en su formulación matemática, modificados los límites en las restricciones de variedad, se presenta a continuación:

Función objetivo

$$\text{Minimizar } Z(x) = \sum_{i=1}^{109} \sum_{j=1}^5 c_i x_{ij}$$

Sujeto a:

Calorías

$$1075 \leq \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 1300; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Proteínas:

$$9 \leq \sum_{i=1}^{109} b_i x_{ij} \leq 40; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Grasa

$$35 \leq \sum_{i=1}^{109} d_i x_{ij} \leq 500; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Carbohidratos

$$91 \leq \sum_{i=1}^{109} e_i x_{ij} \leq 162; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Calcio

$$490 \leq \sum_{i=1}^{109} f_i x_{ij} \leq 2500; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Fósforo

$$322 \leq \sum_{i=1}^{109} g_i x_{ij} \leq 3000; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Hierro

$$5 \leq \sum_{i=1}^{109} h_i x_{ij} \leq 40; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Caroteno

$$0 \leq \sum_{i=1}^{109} k_i x_{ij} \leq 100; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Tiamina (Vitamina B1)

$$0.35 \leq \sum_{i=1}^{109} m_i x_{ij} \leq 10; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Riboflavina (Vitamina B2)

$$0.35 \leq \sum_{i=1}^{109} n_i x_{ij} \leq 10; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Niacina

$$4.2 \leq \sum_{i=1}^{109} p_i x_{ij} \leq 10; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

VitaminaC

$$11 \leq \sum_{i=1}^{109} k_i x_{ij} \leq 400; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Restricciones de balance

$$0.12 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 4.13 \sum_{i=1}^{109} b_i x_{ij} \leq 0.15 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij}; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

$$0.25 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 9.26 \sum_{i=1}^{109} d_i x_{ij} \leq 0.30 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij}; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

$$0.55 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij} \leq 4.13 \sum_{i=1}^{109} e_i x_{ij} \leq 0.6 \sum_{i=1}^{109} a_i x_{ij}; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Restricciones de variedad incluidas

Leche:

$$x_{2,j} + x_{1,j} \geq 1; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Verduras:

$$\sum_{i=23}^{46} x_{ij} \geq 4; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Frutas:

$$\sum_{i=47}^{84} x_{ij} \geq 4; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Carnes:

$$\sum_{i=6}^{14} \sum_{j=1}^5 x_{ij} \geq 3$$

Cereales:

$$3 \leq \sum_{i=92}^{104} x_{ij} \leq 5; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Arroz:

$$\sum_{j=1}^5 x_{92,j} \geq 4$$

Huevos:

$$2 \leq \sum_{j=1}^5 x_{5j} \leq 3$$

Harinas:

$$2 \leq \sum_{i=105}^{109} x_{ij} \leq 4; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

De igual forma no se consideraron algunas restricciones pues debido a su inclusión se presentaba infactibilidad.

Un problema adicional que se presentaba era relacionado al número de alimentos en cada día, pues en algunos casos se concentraban en un solo día un número alto dejando a los demás con pocos alimentos.

Para tener un valor similar de productos en cada día se estableció una restricción final que condiciona al modelo a tener entre 17 y 20 alimentos por día:

$$17 \leq \sum_{i=1}^{109} x_{ij} \leq 20; \quad \forall j = 1, 2, \dots, 5$$

Con la formulación anterior y en motivo de dar solución al modelo se utilizaron un total de 545 variables binarias y 123 restricciones mismas que componen el problema descrito.

Con todo lo anterior se pudo comprobar que el modelo formulado responde de manera correcta según las necesidades y requerimientos solicitados en cuanto a nutrientes y balance. En la tabla siguiente se muestra la solución que se obtuvo con la formulación anterior:

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Leche	Leche	Leche	Leche	Leche
Queso	Queso	Queso	Huevos	Queso
Librillo	Librillo	Huevos	Acelga	Librillo
Aguacate	Aguacate	Aguacate	Berro	Aguacate
Achogcha	Achogcha	Apio	Espinaca	Achogcha
Apio	Apio	Cebolla	Nabo	Apio
Cebolla	Cebolla	Zuquini	Vainita	Cebolla
Pimienta	Pimienta	Granadilla	Zuquini	Pimienta
Frutilla	Frutilla	Guayaba	Kiwi	Frutilla
Kiwi	Kiwi	Limon	Maracuya	Kiwi
Limon	Limon	Piña	Papaya	Limon
Melon	Melon	Oca	Piña	Melon
Arroz	Arroz	Arroz	Papanabo	Arroz
Avena	Avena	Maiz amarillo	Avena	Avena
Pan	Pan	Choclo	Cebada	Pan
Almidon de yuca	Almidon de yuca	Almidon de yuca	Pan	Almidon de yuca
Maicena	Maicena	Harina de maiz	Almidon de yuca	Maicena
			Maicena	

Tabla 4-1 Solución de la formulación del modelo final

Fuente: Elaborado por el autor

El costo asociado a la solución presentada por semana es de \$ 6.86, lo que significa que diariamente se necesitaría de \$1.37 en promedio para realizar la compra de alimentos por niño y por día.

4.2 Validación del modelo de costo mínimo implementado

La validación del presente modelo se la realizó con el objetivo de verificar que la solución óptima está cumpliendo a cabalidad con los requerimientos planteados en las restricciones del modelo. En una primera parte se analizan las porciones de los alimentos que debe brindar la solución para la semana y para cada día en particular, en una segunda parte se comprueba que los requerimientos de nutrientes se encuentren efectivamente entre los intervalos establecidos.

4.2.1 Porciones de alimentos incluidas en la dieta

Según los requerimientos establecidos en los lineamientos de la Subsecretaría de Desarrollo Infantil existen algunos alimentos que se deben incluir de forma

obligatoria, tanto a la semana como para cada día en particular; estas exigencias se detallan a continuación:

- Un caso importante es el de la leche, la cual debe figurar todos los días de la semana; si se observa la tabla 4-1 en cada día existe el componente de leche.
- Para el caso de las verduras se estableció un mínimo de 4 al día lo cual es corroborado en la solución pues se tiene para los diferentes días entre 4 y 6 verduras al día.
- Las frutas presentan un similar comportamiento en la solución óptima; en este caso para todos los días se presentan al menos 4 frutas lo que fue establecido en las restricciones.
- Un caso especial fue el de las carnes, éstas debían brindarse al menos tres veces a la semana. Si se observa la solución tenemos este alimento los días lunes, martes y viernes como se requería efectivamente.
- Para los huevos se estableció un intervalo de entre dos y tres a la semana; aquí la solución se fijó en la cota inferior pues brinda dos porciones de este producto a la semana.
- En cuanto a los cereales se escribió un intervalo de entre 3 y 5 porciones de estos alimentos, de igual forma la solución nos da la el valor inferior del intervalo para cada día, esto es, 3 cereales por día. Esta restricción contrasta con la del arroz, que consta dentro del grupo de los cereales y para el cual se estableció un mínimo de 4 porciones a la semana. Vemos que se cumple nuevamente sin afectar la factibilidad y formando parte también dentro del grupo de cereales.
- Finalmente las harinas fueron requeridas de entre 2 a 4 porciones, al igual que en todos los casos anteriores se cumple esta restricción, a pesar de que va al valor inferior de intervalo establecido.

4.2.2 Análisis de macro y micro nutrientes y restricciones de balance

Para analizar si se cumplen los requerimientos nutricionales en las dietas se presentan las tablas a continuación con los alimentos que brinda la solución óptima tanto para macro así como para micro nutrientes.

Día	Proteínas	Grasas	Carbohidratos	Total Calorías
Lunes	41.213	35.984	162.055	1173
	170.20969	333.21184	669.28715	
	15%	28%	57%	
Martes	41.213	35.984	162.055	1173
	170.20969	333.21184	669.28715	
	15%	28%	57%	
Miércoles	39.539	34.804	158.263	1139
	163.29607	322.28504	653.62619	
	14%	28%	57%	
Jueves	39.824	35.87	160.831	1161
	164.47312	332.1562	664.23203	
	14%	29%	57%	
Viernes	41.21	35.98	162.06	1173
	170.21	333.21	669.29	
	15%	28%	57%	

Tabla 4-2 Aporte macronutrientes de la solución óptima

Fuente: Elaborado por el autor

Para cada día se muestra en la primera línea el valor de cada macronutriente, en la segunda línea el valor de cada uno de ellos transformado a calorías (el valor del macronutriente multiplicado por 4.13 y 9.26 respectivamente) y en la tercera línea el aporte porcentual al total de energía. Recordemos que para las proteínas el intervalo debe ser de entre el 12 y 15%, para las grasas entre 25 y 30% y los carbohidratos del 55 al 60%. Se observa que el número de calorías es el correcto, pues en todos los casos se encuentra entre 1075 y 1300 que es el intervalo recomendado. En cuanto al aporte de proteínas, grasas y carbohidratos a la energía total los porcentajes obtenidos no salen de los intervalos exigidos al modelo.

Para el aporte de micronutrientes de la solución obtenida no existen problemas, pues todos ellos se encuentran correctamente determinados según las restricciones planteadas:

Día	Calcio	Fosforo	Hierro	Caroteno	Tiamina	Riboflav	Niacina	Acido ascórbico
Lunes	527.39	676.86	7.53	0.53	0.42	0.87	6.55	117.90
Martes	527.39	676.86	7.53	0.53	0.42	0.87	6.55	117.90
Miércoles	517.27	895.41	9.64	0.51	0.57	1.01	6.59	209.48
Jueves	493.32	700.65	13.20	3.89	0.70	1.06	9.56	214.85
Viernes	527.39	676.86	7.53	0.53	0.42	0.87	6.55	117.90
Intervalos recomenda dos (mg)	490 - 2500	322 - 3000	4.9 - 40	ND	0.35 - ND	0.35 - ND	4.2 - 10	10.5 - 400

Tabla 4-3 Aporte de micronutrientes de la solución óptima

Fuente: Elaborado por el autor

El costo mínimo que se obtiene como solución de la minimización es de \$1.37 por día y por niño, sin embargo este tiene diferentes valores en cada día de la semana, razón por la que el valor indicado anteriormente vendría a ser un costo promedio:

Día	Precio (\$)
Lunes	1.55
Martes	1.55
Miércoles	1.18
Jueves	1.03
Viernes	1.55
Precio promedio	\$ 1.37

Tabla 4-4 Precios diarios y promedio de la solución óptima

Fuente: Elaborado por el autor

Con todo lo descrito anteriormente se puede dar fe que efectivamente la solución óptima obtenida con el modelo planteado satisface casi en su totalidad los requerimientos solicitados en costo, aporte nutricional, balance de macronutrientes y variedad.

4.3 Análisis comparativo de los diferentes modelos planteados

A continuación y luego de haber determinado un modelo final para implementar las dietas en los CIBV y al haber probado su validez, se realizará una

comparación con las formulaciones presentadas en el capítulo anterior, esto para poder evaluar las ventajas y desventajas de cada uno de los modelos y describir la evolución de los mismos hasta llegar al modelo final ya presentado y validado.

4.3.1 Descripción modelo real sin restricciones de variedad

En este modelo se tomó como primera consideración que la variable de decisión sea continua, además se incluyeron restricciones tanto para macro y micro nutrientes, una restricción para controlar el número máximo de porciones que podía escoger el modelo de cada alimento y las restricciones de balance de carbohidratos, grasas y proteínas en donde se buscaba mantener equilibrado el aporte calórico que realizan cada uno de estos macronutrientes al total de energía (calorías) recomendado para la edad en estudio. De esta manera y una vez resuelto el modelo se pudo determinar algunos aspectos importantes:

Costo: este valor se encuentra por debajo de lo presupuestado (\$ 0.17). Aunque en principio no se lo podría considerar como una desventaja (pues uno de los objetivos es mantenerlo lo más bajo posible de manera de ahorrar recursos), al analizarlo con el resto de aspectos se probará efectivamente si su implementación es necesaria.

Porciones de alimento: como se puede observar en la solución de este modelo las porciones de algunos alimentos son tan pequeñas que resulta difícil poder medir la cantidad exacta para incluirlas en las preparaciones.

Insuficiente cantidad de alimentos: además de lo anterior, caber resaltar que la solución arroja únicamente 7 alimentos de 109 que se encuentran en la base de datos obtenida, por esta razón no se puede tomar como válida la solución ya que no es posible elaborar un menú de comidas para un niño teniendo únicamente 7 alimentos, aun cuando las necesidades nutricionales de los mismos estén perfectamente satisfechas para un día según las recomendaciones nutricionales.

Falta de variedad alimenticia: atado a lo anterior no existe variedad en las dietas, pues en este caso se tomaría los resultados obtenidos y mediante la clasificación multivariante de alimentos poder variar los mismos durante toda la semana, a pesar de esto persistiría el problema de pocos alimentos.

4.3.2 Descripción modelo entero sin restricciones de variedad

De igual forma que el modelo anterior, este incluye todas las restricciones de balance, número de porciones y las de macro y micro nutrientes, la diferencia radica en el carácter de la variable de decisión la que se cambió de real a entera para evitar el problema de cuantificación de porciones de alimento, de esta forma se puede resumir lo siguiente:

Costo: el costo para el modelo entero aumentó casi al doble del caso anterior, siendo este de \$ 0.55 por niño y por día. Aún con el aumento de este costo se observa que continúa por debajo del nivel preestablecido.

Porciones y variedad: en este caso las porciones resultan ser números enteros, de esta forma se las puede cuantificar mucho más fácilmente, no obstante el número de alimentos continúa siendo bajo (únicamente 7 alimentos) impidiendo nuevamente realizar una dieta acorde a las necesidades de los infantes. La variedad y la falta de alimentos que deben ser incluidos diariamente siguen siendo un problema que se presenta nuevamente.

4.3.3 Descripción modelo entero semanal sin variedad

En este modelo se agregó un nuevo índice a la variable de decisión el cual permite controlar la inclusión de alimentos por día y por semana. Se decidió resolver este modelo para verificar sus soluciones y en base a ello poder realizar correcciones concretas a posteriores modelos.

Costo: en cuanto al costo de esta dieta es de \$ 2.50 por semana, lo que significaría un costo diario de \$ 0.50. En relación a la solución anterior este disminuyó aunque no en una gran proporción, sin embargo, aún no representa ni

el 50% de lo establecido en los lineamientos de planificación de comidas de los CIBV.

Variedad y número de alimentos: en cuanto a variedad, se observa que la mayoría de alimentos se repiten durante los días de la semana, además se tiene muy pocos alimentos (al igual que en casos anteriores) impidiendo que se puedan elaborar el número de comidas necesario en un día. En cuanto a las porciones que ofrece podemos ver que éstas varían entre 1 y 3 como se estableció al definir el bloque de restricciones de variedad.

4.3.4 Descripción modelo entero, semanal con variedad

Debido a los problemas que se presentaron en el caso anterior, se decidió incluir nuevas restricciones para garantizar variedad en las soluciones de la dieta. A continuación se muestra las principales características de este modelo:

Costo: El costo referente a este modelo aumentó considerablemente a \$ 1.04 por día, valor que se encuentra aún por debajo del presupuesto base para la compra de alimentos (\$ 1.30 por día). El aumento con relación al modelo anterior aumento se dio debido a la inclusión de las restricciones de variedad en el modelo. Cabe resaltar que no fue posible incluir todo el conjunto de restricciones de variedad planteadas, pues causa infactibilidad al momento de resolver el modelo.

Variedad y número de alimentos: para este caso el número de alimentos aumentó, así como también la variedad en relación al modelo anterior. En cuanto a las porciones por alimento éstas se mantienen entre el intervalo determinado, aún cuando sigue siendo un poco alto en el caso de algunos alimentos, además se ha logrado controlar que se incluyan algunos alimentos requeridos por la Subsecretaria de Desarrollo Infantil para elaborar las dietas. Finalmente se decidió probar un modelo binario para incluir una sola porción de alimento, de igual forma que sea semanal y que incluya variedad, con la finalidad de cumplir en mayor medida las necesidades de los CIBV.

4.3.5 Descripción modelo binario, semanal con restricciones de variedad

Este modelo se presenta como una variante del entero, con la diferencia que en este caso la variable de decisión es binaria, esto para poder obtener solo una porción de cada alimento que sea escogido en la solución. De igual forma solo se han incluido algunas restricciones de variedad para que se mantenga la factibilidad. Con base en lo anterior, se determinó que este último modelo sea el utilizado para conocer los alimentos que deben incluirse en las dietas a plantearse; en lo que sigue se describe las características de las soluciones obtenidas al resolver el modelo.

Costo: la solución de este modelo indica que el costo mínimo es de \$ 1.37 por niño y por día, este valor excede en \$ 0.07 de lo que se tiene presupuestado en la actualidad, sin embargo este incremento se puede justificar debido a la cantidad de restricciones que se tuvieron que incluir en el modelo para tener resultados que cumplan mayoritariamente con las necesidades de alimentación planteadas por la Subsecretaría.

Número de alimentos y variedad: para este modelo se puede observar que hay una mayor cantidad de alimentos para realizar las comidas necesitadas en un día, adicionalmente nos podemos dar cuenta que el número es casi homogéneo durante toda la semana. Presenta variedad, aunque se repiten algunos alimentos en los diferentes días. También se nota que existen algunos productos que no aparecen en la dieta y que son de común consumo en la población. En principio se supuso que debido al alto costo de estos productos no era posible que el modelo los pudiera haber seleccionado en la solución, por este motivo se decidió realizar una simulación de precios indistintamente para todos los alimentos. Una vez obtenida la solución con estos valores aleatorios se pudo comprobar que a pesar de utilizar precios aleatorios los alimentos continuaban repitiéndose de la misma forma como si se estuviese utilizando los precios originales, razón suficiente por lo que se descartó la hipótesis señalada.

En forma de resumen se presenta un cuadro comparativo de la evolución de los diferentes modelos planteados en el capítulo anterior, en donde se mencionan sus ventajas y desventajas relacionadas a los aspectos dados en párrafos precedentes.

Nombre Modelo	Costo	Cantidad de alimentos	Variedad	Porciones	Tipo de la variable de decisión
Modelo real sin restricciones de variedad	\$ 0.17	6 alimentos, no es posible elaborar 4 comidas con los mismos.	Sin variedad	Las porciones no se pueden cuantificar fácilmente.	Variable continua
Modelo entero sin variedad	\$ 0.55	7 alimentos, no es posible elaborar 4 comidas en un día.	Sin variedad	Las porciones se pueden cuantificar ya que son números enteros.	Variable discreta
Modelo entero semanal sin variedad	\$ 0.50	Entre 7 y 10 alimentos por día, aún insuficientes para la dieta.	Sin variedad	Las porciones se pueden cuantificar fácilmente, se encuentran entre 1 y 3 porciones por alimento.	Variable discreta entera definida en función de las porciones de alimentos y de los días de la semana.
Modelo entero semanal con variedad	\$ 1.03	Entre 12 y 13 alimentos por día.	Incluye algunas restricciones de variedad, pero aún no todos los tipos de alimentos solicitados.	Las porciones varían entre 1 y 3 por alimento, son cuantificables.	Variable discreta entera definida en función de las porciones de alimentos y de los días de la semana.
Modelo binario semanal con variedad	\$ 1.37	Entre 17 y 18 alimentos por día. Por verificar la factibilidad de elaborar 4 comidas en un día.	Incluye algunas restricciones de variedad, incluye la mayoría de alimentos solicitados.	Se estandarizó a una porción por alimento por día.	Variable discreta binaria definida en función de las porciones de alimentos y de los días de la semana.

Tabla 4-5 Resumen de las características de los modelos y sus soluciones

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla anterior se han resumido los aspectos más importantes de cada uno de los modelos planteados y sus respectivas soluciones. En principio interesaría únicamente enfocarse en el costo para elegir uno de ellos (sabiendo de antemano que todos cumplen con las necesidades nutricionales requeridas), sin embargo, en este caso el modelo de menor costo es el que más inconvenientes presenta en cuanto a variedad porciones y cantidad de alimentos. Estas dificultades se presentan de forma similar para los dos siguiente modelos. Este hecho nos deja

únicamente con las soluciones de los dos modelos finales, de los cuales el último presentado parece ser el más adecuado al incluir gran número de alimentos y una considerable variedad para poder elaborar las comidas requeridas, en cuanto al costo se puede decir que está dentro de los límites presupuestarios establecidos por lo cual se acepta dicha solución.

4.4 Dietas elaboradas en base al modelo de costo mínimo

Una vez analizadas todas las características, ventajas y desventajas tanto de la formulación como de las soluciones de los modelos planteados y al haber elegido finalmente uno de ellos, se hace indispensable construir un modelo de preparación de comidas para una semana, éste se realizó a criterio personal, variando los alimentos según la clasificación por conglomerados obtenida anteriormente; este modelo se muestra a continuación:

Tipo de comida	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Desayuno	Jugo de piña	Jugo de maracuyá	Jugo de babaco	Maicena con leche	Jugo de maracuyá
	Fruta, sandía, melon	Fruta piña, melón, papaya	Fruta piña, sandía	Fruta melón, papaya, piña	Fruta kiwi, papaya, melón
	Pan	Pan con queso	Oca frita	Huevo duro	Pan
Media mañana	Agua aromática	Agua aromática	Agua aromática	Agua aromática	Agua aromática
	Mandarina	Manzana	Granadilla	Pan	Manzana
Almuerzo	Crema de apio y papa	Sopa de espinaca con papa	Sopa de avena con papa	Crema de espinaca	Crema de apio
	Pescado frito	Menestra de fréjol	Tortilla de huevo	Guatita	Menestra de lenteja y queso
	Arroz	Arroz	Arroz	Papa cocinada	Arroz
	Ensalada de aguacate lechuga	Ensalada de lechuga y tomate	Ensalada de brócoli con cebolla	Ensalada de pepinillo con vainita	Ensalada lechuga tomate
	Limonada	Limonada	Jugo de maracuyá	Jugo de tamarindo	Limonada
Media tarde	Maicena con leche	Avena con leche	Choclo con queso	Colada de avena con maracuyá	Batido de tomate
			Morocho con leche		

Tabla 4-6 Menú propuesto para 1 semana de comidas en los CIBV

Fuente: Elaborado por el autor

En la tabla anterior se muestra un menú tentativo para una semana, se elaboró utilizando la solución del modelo binario semanal con variedad y la clasificación multivariante de los alimentos con el objetivo de variar los mismos en cada día según el grupo al que hayan pertenezcan.

En motivo de que no se tomó en cuenta el precio de los productos al elaborar la clasificación en conglomerados el precio promedio de una dieta por día tendrá variaciones. Por esta razón se comprobó para el menú anterior cual sería el precio obtenido, procurando que no cambie en gran medida el promedio por día

que se obtuvo en la solución óptima. La tabla 4.7 muestra los valores de cada dieta por día y el precio promedio alcanzado:

Día	Precio (\$)
Lunes	1.75
Martes	1.30
Miércoles	1.28
Jueves	1.34
Viernes	1.38
Precio promedio	\$ 1.41

Tabla 4-7 Precio promedio de una dieta en un día

Fuente: Elaborado por el autor

El valor excedente es de \$0.04 con respecto a la solución original, lo cual se justifica en el hecho de que al realizar los reemplazos los precios difieren de alimento a alimento, sin embargo, se puede dar cuenta que este no presenta variaciones significativas.

Además, se analizó en última instancia que el aporte de proteínas, grasas y carbohidratos al total de energía este dentro de los intervalos determinados por la Subsecretaría de Desarrollo Infantil (al igual que en la solución óptima). Los cuadros a continuación muestran los resultados:

Día	Proteínas	Grasas	Carbohidratos	Total Calorías
Lunes	52.868	34.534	176.738	1268
	218.34484	319.78484	729.92794	
	17%	25%	58%	
Martes	37.513	30.16	170.089	1137
	154.92869	279.2816	702.46757	
	14%	25%	62%	
Miércoles	46.168	28.11	156.091	1096
	190.67384	260.2986	644.65583	
	17%	24%	59%	
Jueves	45.323	35.235	184.769	1277
	187.18399	326.2761	763.09597	
	15%	26%	60%	
Viernes	39.14	30.26	159.57	1101
	161.65	280.20	659.02	
	15%	25%	60%	

Tabla 4-8 Aporte de macronutrientes a calorías por día

Fuente: Elaborado por el autor

En este punto se observa que, para el caso de las proteínas los valores se salen del intervalo recomendado en dos ocasiones, en las grasas únicamente se presenta un caso al igual que en los carbohidratos. Vemos que en la mayoría de días se cumplen las restricciones de variedad y en los días que estos valores salen del intervalo no lo hacen más que en dos puntos porcentuales (debido al reemplazo de alimentos), motivo por el cual se aceptan los resultados.

Finalmente el análisis de micronutrientes se hizo de forma similar a lo realizado para la solución óptima, de donde se obtuvo lo siguiente:

Día	Calcio	Fosforo	Hierro	Caroteno	Tiamina	Riboflav	Niacina	Acido ascórbico
Lunes	535.07	795.46	9.84	0.47	0.59	0.85	9.75	140.27
Martes	540.15	694.50	14.42	41.63	0.53	0.75	6.42	182.90
Miércoles	591.32	903.05	10.05	1.04	0.78	1.19	10.50	184.28
Jueves	443.05	766.53	16.50	1.33	0.97	5.47	10.91	167.60
Viernes	542.69	644.91	12.87	41.08	0.53	0.82	6.64	164.95
Intervalos recomendados (mg)	490 - 2500	322 - 3000	4.9 - 40	ND	0.35 - ND	0.35 - ND	4.2 - 10	10.5 - 400

Tabla 4-9 Aportes de micronutrientes e intervalos recomendados por día

Fuente: Elaborado por el autor

Observando la tabla anterior se concluye que todos los micronutrientes que incluyen las dietas propuestas se encuentran adecuadamente determinados, pues en un solo día el calcio se sale del intervalo, para los demás casos se mantienen los valores dentro de los límites propuestos.

Cabe resaltar que de la solución óptima obtenida no se utilizaron todos los alimentos, pues con la mayoría de ellos era suficiente para elaborar las comidas requeridas en un día, además se utilizó la mayor porción según la preparación, lo que en ciertos casos permitiría utilizar en diferentes comidas dependiendo de la cantidad usada en primera instancia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Una alimentación adecuada durante los primeros años de vida es fundamental para el desarrollo del ser humano, pues es en este lapso donde se encuentran aún en etapa de desarrollo órganos tan importantes como el cerebro. Es por ello que parte de recibir una estimulación adecuada se le debe brindar los nutrientes necesarios para que el desarrollo del niño sea integral y que éste pueda desarrollarse de manera adecuada durante las siguientes etapas de vida.
- Uno de los ejes fundamentales que plantea el Gobierno Nacional es proveer el acceso de alimentos a toda la población, principalmente a los grupos que se consideran vulnerables (población pobre, en extrema pobreza, grupos indígenas), pues es en ellos donde se presentan graves problemas de salud al no poder consumir de manera adecuada alimentos necesarios para su correcto desarrollo.
- Los niños en edades de entre uno y cinco años pertenecientes a los grupos vulnerables son aún más propensos a presentar problemas de salud (principalmente de desnutrición) por ser un período crítico para ellos, lo cual si no es adecuadamente tratado puede generar secuelas tanto a corto como a largo plazo en la vida de los infantes y consecuentemente afectando al desarrollo de toda la población de una sociedad, en nuestro caso la ecuatoriana.
- Si bien la desnutrición ha disminuido en los últimos 20 años, aún se siguen presentado problemas en varias provincias del país, en donde esta enfermedad se despliega precisamente en los primeros meses y años de vida.

- Existen varios programas que impulsa el Gobierno a través del Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) para combatir estos males sociales, entre ellos se encuentra el brindar la alimentación gratuita a niños en edades de 1 a 5 años por medio de los Centros Infantiles del Buen Vivir (CIBV). Estos centros proveen a los infantes de cuatro comidas diarias, mediante las cuales se busca aportar el 70% de los requerimientos nutricionales que requieren según su edad.
- Una vez analizada la parte nutricional de los menús semanales, mediante los cuales se proveen las diferentes comidas a los niños de los CIBV, se pudo encontrar que están desbalanceadas en cuanto al aporte que realizan los carbohidratos, proteínas y grasas al total de calorías, adicionalmente solo se toman en cuenta los macronutrientes para elaborar las dietas semanales, dejando de lado algunos micronutrientes que son de vital importancia y que deben tener ciertos intervalos de consumo adecuados para poder garantizar un correcto aporte nutricional diario en cada comida suministrada.
- La información referente a producción y precios de los alimentos que se consideran en la elaboración de comidas en los CIBV es muy escasa y presenta vacíos considerables en nuestro país, esto en cierta forma impide caracterizar adecuadamente la cantidad de cultivos producidos en cada zona y su variabilidad en el precio de acuerdo a cada época del año.
- El análisis de conglomerados es una herramienta muy útil en diferentes campos, en este caso permitió clasificar los diferentes alimentos en grupos de similares características nutricionales y con ello poder realizar reemplazos con la finalidad de ofrecer variedad en las dietas, sin afectar en gran medida las necesidades de nutrientes por día para cada niño.
- La aplicación de la programación lineal permitió construir un modelo matemático mediante el cual se minimizó el costo por día y por niño de

cada dieta, además se incluyeron restricciones acordes a las necesidades de la Subsecretaría de Desarrollo Infantil tanto nutricionales como de variedad. Para esto se tomó en cuenta la edad de los niños y sus necesidades nutricionales básicas diarias tanto para macro como para micronutrientes.

- Adicionalmente el modelo desarrollado permite fácilmente adaptarlo a diferentes grupos de edad, tomando en cuenta las características específicas de cada uno de ellos y sus requerimientos nutricionales recomendados por día.
- Bajo los parámetros establecidos en el modelo de costo mínimo no se logró llegar al presupuesto establecido para la compra de alimentos (\$ 1.30) el cual según la solución óptima excede en \$0.07. Este valor no es tan significativo considerándose que con la implementación de las dietas propuestas los niños estarán adecuadamente alimentados y nutridos, colaborando de esta forma a evitar posibles problemas de salud en el futuro.
- Al utilizar la solución del modelo es necesario utilizar los grupos de alimentos creados mediante el análisis de conglomerados con la finalidad de realizar un intercambio entre ellos y lograr variedad en las comidas día con día, sin que esto afecte en gran medida promedio diario de cada dieta y su respectivo aporte nutricional.
- Es importante resaltar que anteriormente se han realizado estudios en cuanto al manejo de dietas considerando únicamente satisfacer la necesidad nutricional de macronutrientes; el presente estudio va mucho más a fondo del análisis alimentario, mismo que no se ha desarrollado en esta forma en el ámbito de la investigación de operaciones.

- Se puede valorar la necesidad de incluir nuevos cultivos de interés en las diferentes regiones del territorio nacional, de acuerdo a las condiciones climáticas de cada uno de ellos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Si bien el presente estudio colabora con el programa de los CIBV a evitar uno de los tantos problemas que presentan los niños de nuestro país, se debe considerar complementarlo de mejor manera con otras alternativas que no solo incentiven una buena salud y alimentación sino que busquen desarrollar todas sus capacidades y aptitudes.
- Es importante también enfocarse en los datos nutricionales de cada alimento, pues estos fueron tomados de una tabla elaborada en el año de 1975, por este motivo se debería realizar un nuevo estudio que permita caracterizar los valores actuales de cada nutriente en los alimentos, pues con el paso del tiempo y debido al uso de plaguicidas y fungicidas en los cultivos se pudo haber alterado la composición nutricional de los mismos.
- Los datos referentes a precios deben ser actualizados de la misma forma, en motivo de verificar las variaciones del costo de las dietas según el transcurrir del tiempo y dependiendo de la información que se tenga disponible en el momento de realizarlo.
- Una parte importante que se debería analizar es el origen de los alimentos con los que se prepara actualmente las comidas en los centros infantiles y el costo de cada uno de ellos, con la finalidad de tener mejores estimaciones en cuanto a precios y poder tener herramientas a futuro que permitan definir nuevos presupuestos para este tipo de programas de beneficio social.
- En cuanto al precio se recomienda tomar en cuenta todas las consideraciones que se presentan en los lineamientos de planificación de alimentación y en base a ellas establecer el presupuesto para cada niño por día, con la finalidad de cumplir mayoritariamente con los objetivos planteados en los mencionados lineamientos.

- La alianza de los centros infantiles con otros establecimientos del estado debe ser tomada en cuenta, pues existen ciertos insumos y servicios que actualmente son desarrollados en diferentes instituciones, los cuales al ser requeridos por la Subsecretaria de Desarrollo Infantil podrían ayudar significativamente a reducir costos y mejorar así el servicio de alimentación.
- Estos programas de ayuda social tienen que ser ampliados a regiones de escasos recursos económicos donde el acceso a la alimentación y a la salud es muy deficiente, pues es en estos lugares donde se presentan mayoritariamente estos problemas y muchas veces son dejados de lado por las autoridades de turno.
- Finalmente se recomienda buscar la forma de actualizar la información estadística referente a producción y precios, debido a que no existe concordancia de datos al realizar comparaciones entre lo que poseen las diferentes instituciones y que son las encargadas de producir esta información.

REFERENCIAS

- [1] A. Agudo y Y. Castro, «Estado de los Derechos de la niñez y adolescencia en Ecuador 1990 - 2011,» Observatorio Social del Ecuador, Quito - Ecuador, 2012.
- [2] W. Freire, M. J. Ramírez y P. Belmont, «Resumen ejecutivo TOMO I. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición,» Ministerio de Salud Pública / INEC, Quito - Ecuador, 2011-2013.
- [3] J. Uxó Gonzáles, «Expansión.com: Diccionario económico,» 2013. [En línea]. Available:<http://www.expansion.com/diccionario-economico/crecimiento-economico.html>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [4] R. Behoteguy Chávez, «El concepto de Desarrollo Económico Sostenible desde la óptica de los derechos humanos».
- [5] M. Hopenhayn y S. Montaña , *Desnutrición Infantil en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, 2006.
- [6] D. Rodríguez, «Consecuencias de una alimentación inadecuada,» *Revista Dosis*, 2012.
- [7] R. Martínez y A. Fernández, «El Costo del Hambre,» s.n, Santiago de Chile, 2007.
- [8] F. Gómez, «Studies on malnutrition in children,» Mexico DF, 1951, pp. 593-608.
- [9] Ministerio de Inclusión Económica y Social - Instituto de la Niñez y la Familia, «Sistematización de la experiencia de los centros de protección de derechos del área de protección especial MIES-INFA,» Quito, 2010.
- [10] G. Guerra, «Ministerio Coordinador de Desarrollo Social,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.desarrollosocial.gob.ec/programa-accion-nutricion/>.
- [11] R. Martínez, «Impacto Social y Económico de la Desnutrición Infantil,» Santiago de Chile, 2007.
- [12] G. Stigler, «The cost of subsistence,» *Journal of farm economics*, vol. 27, nº 2, pp. 303 - 314, 1945.
- [13] R. Levin y K. Charles, *Enfoques cuantitativos en la administración*, Mexico D.F: CECSA, 1983.
- [14] F. Hieller y G. Lieberman, *Introducción a la Investigación de Operaciones*, Mexico: McGraw Hill de Mexico, 1993.

- [15] J. S. Beltrán, *Elaboración de un modelo de costo mínimo de una dieta balanceada para la población de Bogotá para el año 2010*, Bogotá, 2010.
- [16] E. Suazo, *Análisis, diseño e implementación de un sistema de formulación de raciones y análisis de sensibilidad de insumos para animales de granja*, Lima, 2011.
- [17] T. Berthold, G. Gamrath, A. Gleixner y S. Heinz, *Solving mixed integer linear and nonlinear problems using the SCIP Optimization suite*, Berlin: Zuse Institute Berlin, 2012.
- [18] Zuse Institute Berlín, «SCIP Optimization Suite,» [En línea]. Available: <http://scip.zib.de/#scipoptsuite>. [Último acceso: 15 Junio 2014].
- [19] Instituto Nacional de Nutrición, *Tabla de composición de los Alimentos Ecuatorianos*, Guayaquil, 1975.
- [20] J. J. Otten, H. Pitz y L. D. Meyers, *Dietary Reference Intakes*, Washintong DC.: The National Academies Press, 2006.
- [21] M. G. Alegre, «Obesidad y desnutrición en la infancia. Reflejos de la pobreza,» Buenos Aires, 2005.
- [22] F. Kuiper y L. Fisher, «A Monte Carlo comparison of six clustering procedures,» *Biometrics* 31 , 1975.
- [23] H. Mora, *¿Qué es el método de Karmakar?*, Santa Fé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1995.
- [24] G. Dantzig, *Linear Programming and Extensions*, Press Princeton, 1963.
- [25] A. Hofacker, *Rapid lean construction - quality rating model*, Manchester: s.n., 2008.
- [26] W. Wisbaum, «La Desnutrición Infantil,» UNICEF España, Madrid, 2011.
- [27] M. Lahoz y D. Lahoz, «Programación Lineal Entera,» 2009.
- [28] W. Freire, «Diagnóstico de la situación alimentaria, nutricional y de salud de la población ecuatoriana menor de 5 años,» Quito, 1988.

ANEXOS

ANEXO 1 Alimentos utilizados en la investigación

N°	Alimento	N°	Alimento	N°	Alimento
1	Leche pasteurizada	38	Pepinillo	75	Platano orito maduro
2	Yogurth	39	Pimiento verde	76	Platano de seda (verde)
3	Queso de comida	40	Rabano rojo	77	Platano de seda (maduro)
4	Queso de mesa	41	Remolacha	78	Sandia
5	Huevos	42	Tomate de riñon	79	Zapote
6	Carne de Borrego	43	Vainita	80	Tamarindo
7	Carne de Res	44	Zambo	81	Taxo
8	Cuero de cerdo	45	Zanahoria amarilla	82	Tomate de arbol
9	Pollo	46	Zuquini	83	Tuna blanca
10	Carne de Res	47	Babaco	84	Uva
11	Librillo	48	Claudia amarilla	85	Camote morado
12	Higado de Res	49	Ciruela	86	Melloco
13	Pescado Picudo	50	Chirimoya	87	Oca
14	Pescado dorado	51	Durazno	88	Papa chola
15	Arveja seca	52	Frutilla	89	Papa nabo
16	Arveja tierna	53	Granadilla	90	Yuca blanca
17	Frejol tierno	54	Guanabana	91	Zanahoria blanca
18	Frejol seco	55	Guayaba	92	Arroz flor
19	Haba tierna	56	Kiwi	93	Avena
20	Haba comun seca	57	Lima dulce	94	Canguil
21	Habichuela	58	Limon sutil	95	Cebada
22	Lenteja negra	59	Mandarina	96	Arroz de cebada
23	Aguacate	60	Mango de chupar	97	Maiz amarillo
24	Acelga	61	Maracuya	98	Maiz amarillo (seco)
25	Achogcha	62	Manzana	99	Maiz blanco
26	Apio	63	Melon	100	Morocho
27	Berro	64	Mora	101	Quinua
28	Brócoli	65	Naranja	102	Fideo
29	Zapallo	66	Naranjilla	103	Choclo
30	Cebolla blanca	67	Papaya	104	Pan de sal
31	Cebolla paiteña	68	Pepino	105	Almidon de yuca
32	Col verde	69	Pera	106	Harina de haba
33	Chocho	70	Piña	107	Harina de maiz
34	Coliflor	71	Platano barraganete (verde)	108	Harina de trigo
35	Espinanca	72	Platano barraganete (maduro)	109	Maicena
36	Lechuga	73	Platano dominico (verde)		
37	Nabo	74	Platano dominico (maduro)		

Fuente: Componente alimentario nutricional MIES

ANEXO 2 Métodos de solución de modelos de programación lineal

Método gráfico

El método de solución gráfico de un problema de programación lineal se puede desarrollar únicamente cuando el modelo se expresa en términos de 2 variables. Consiste en representar cada una de las restricciones del modelo en dos ejes de coordenadas (uno por cada variable), las cuales al cortarse entre sí y con cada uno de los ejes delimitarán el área donde se encuentran las soluciones factibles. Una *solución factible* es aquella para la cual todas las restricciones del modelo se satisfacen. La región donde se encuentran las soluciones factibles se denomina región factible.

Para ilustrar el método de solución gráfico se muestra el siguiente ejemplo:

$$\text{Max } z = 4x_1 + 2x_2$$

Sujeto a

$$2x_1 + x_2 \leq 4$$

$$x_1 - x_2 \leq 1$$

El primer paso es graficar el espacio de soluciones factibles para lo cual es necesario sustituir el signo \leq por $=$ en cada una de las restricciones de tal forma que se obtengan únicamente ecuaciones lineales, esto es, convertir las restricciones en igualdades:

$$2x_1 + x_2 = 4 \quad \text{y} \quad x_1 - x_2 = 1$$

Con lo anterior procedemos a graficar las restricciones sobre los ejes de coordenadas:

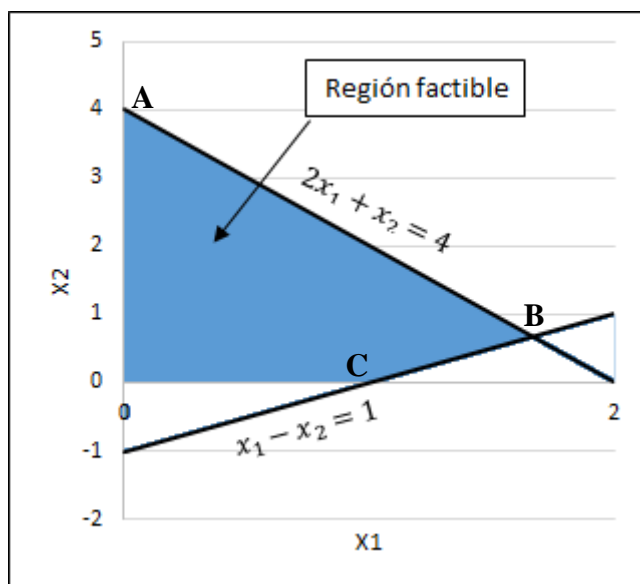


Figura 0-1 Espacio de soluciones factibles de un modelo de programación lineal
Fuente: Elaborado por el autor

El gráfico anterior nos muestra las dos restricciones graficadas en el plano como igualdades, la región que se encuentra entre las dos rectas es el espacio de soluciones factibles. A existir esta región factible se procede a determinar los puntos extremos o vértices del polígono formado, en este caso son los puntos A, B y C en la figura.

Para encontrar la solución óptima se procede al evaluar la función objetivo $z = 4x_1 + 2x_2$ en cada uno de esos puntos, eligiendo el que mayor valor le dé a z , en el ejemplo el mayor valor de z se lo puede encontrar en los puntos B y A de la figura ($f(B)= 8$, $f(A)=8$, por lo tanto también en todos los puntos entre la recta B y A).

Método de simplex

Sin duda el método de resolución de programas lineales (PL) más utilizado en la actualidad es el método del Simplex, el cual busca el óptimo de un PL recorriendo solo los vértices de un poliedro (un plano en el caso de utilizar únicamente 2 variables) que representa el conjunto de soluciones factibles. El proceso se realiza mediante iteraciones, en donde el algoritmo mejora la solución en cada desplazamiento que realiza, aumentando en el caso de que se trate de una

maximización o disminuyéndola si es una minimización. Mediante este proceso es posible llegar a uno de estos resultados:

- Alcanzar una solución óptima única.
- Encontrar una solución óptima que no es única.
- Concluir que el problema no es factible, es decir que no existe ninguna solución que involucre todas las restricciones del problema planteado.
- Concluir que el valor de la función objetivo puede ser tan grande o tan pequeño como se desee.

El algoritmo se puede resumir en los siguientes pasos, los que se ejecutan para encontrar el valor óptimo de la función objetivo:

1. En primer lugar es necesario expresar el problema en su forma estándar o canónica, luego se convertirán las inecuaciones en ecuaciones, para ello se añadirán nuevas variables en las restricciones del problema, sean estas de holgura o de exceso según corresponda el signo de cada una de las restricciones.
2. En segundo lugar se busca un punto extremo llamado solución básica factible, en motivo de que el método del Simplex siempre empieza en un vértice de la región factible y se mueve en cada iteración a lo largo de una arista hacia un nuevo punto en el poliedro de soluciones.
3. Luego de encontrar la solución básica factible se procede a verificar la optimalidad de la misma, en este punto hay que determinar si la solución básica factible actual es la óptima. Si la solución básica factible no es óptima continuamos en el siguiente paso.
4. Si la solución actual no es la óptima, significa que existe una variable no básica que debe ingresar en el modelo, inmediatamente se debe elegir la variable básica que debe salir del sistema.

5. Al realizar el paso anterior tenemos una nueva solución básica factible mejor que la inicial, pero aún se necesita conocer si es la óptima, para lo cual se aplicará el paso 3 que consiste en verificar su optimalidad.

Método de punto interior

El método de punto interior fue introducido en el año de 1984 por Narendra Karmarkar [23] como una alternativa de solución al método del Simplex para resolver problemas de programación lineal. Tiene ciertas características en común con el método del Simplex aunque es radicalmente diferente. Este algoritmo de Punto interior es iterativo, se comienza por identificar una solución prueba factible, y se va trasladando en cada iteración desde una solución prueba actual hacia una mejor solución dentro de la región factible, continua de esta forma hasta encontrar una solución prueba la cual será la óptima [14].

La diferencia más significativa que tiene con el método del Simplex es sin duda que, en este algoritmo (punto interior) el progreso hacia las soluciones prueba se realiza en el interior de la región factible buscando puntos que den un mejor valor para la función objetivo, mientras que el Simplex empieza con una solución básica factible y se mueve en cada iteración buscando una mejor solución sobre las aristas de la frontera de la región factible.

Además, Karmarkar logró probar que su algoritmo en su versión original es de tamaño polinomial, lo que significa que el tiempo que toma en resolverlo se puede explicar mediante una función polinomial en base al problema planteado. Similarmente con el algoritmo del Simplex se puede demostrar que en la mayoría de casos también puede ser explicado por una función polinomial, sin embargo, en algunos esta función puede ser exponencial, es decir, que el número de operaciones necesarias para encontrar una solución es aproximadamente proporcional a una función exponencial.

En un problema de programación lineal en su forma estándar es posible determinar su tamaño utilizando dos de sus componentes principales como son el número de variables (n) y el número de restricciones (m). Según Dantzig [24] el

número de operaciones para la mayoría de problemas no es mayor que $6m^2$, por lo cual podemos concluir que el método del Simplex se puede expresar con un polinomio. Sin embargo, para el año de 1972, Klee y Minty desarrollaron un ejercicio en donde el número de operaciones es aproximadamente $2^{n+1}mn$, es decir una función exponencial. En el método de Karmarkar el número de iteraciones es aproximadamente proporcional a $n^{3.5}$ y el número de operaciones por cada iteración del algoritmo es polinomial, concluyéndose así que este método es polinomial.

A pesar de que el algoritmo de punto interior por ser polinomial resultaría más eficiente, al llevarlo a la práctica solo es superior al método del Simplex para problemas muy grandes con una estructura particular de sus datos. Se recomienda para problemas pequeños utilizar el simplex como método de solución. En la actualidad el desarrollo de software se ha encargado de crear aplicaciones que se manejan mediante el método del Simplex, incorporando también algoritmos de punto interior para hacer más efectiva la solución de problemas de programación lineal.

ANEXO 3 Ficha de seguimiento en los CIBV

1.NOMBRE DEL CIBV ATENCIÓN DIERCTA	
2.COORDINADORA CIBV	
3.DIRECCION :	
DISTRITO:	
4.FECHA:	
5.NUMERO DE NIÑAS/OS 1 A 2 AÑOS 2 A 3 AÑOS 3 A 4 AÑOS	
6.-HIGIENE Y PRESENTACIÓN DE LA RESPONSABLE DEL SERVICION DE ALIMENTACION	

7.DESAYUNO Cumple menú: SI NO	OBSERVACIONES
8.REFRIGERIO DE LA MAÑANA Cumple menú: SI NO	OBSERVACIONES
9.- ALMUERZO Cumple menú: SI NO	OBSERVACIONES
10.REFRIGERIO Cumple menú: SI NO	OBSERVACIONES

10. CONCLUSIONES DE LA VISITA:

--

11. RECOMENDACIONES DE LAS OBSERVACIONES Y EN GENERAL

**NOMBRE Y FIRMA
TÉCNICO DE SEGUIMIENTO**

**NOMBRE Y FIRMA
COORDINADORA DE CIBV**

ANEXO 4 Solicitud de información a la Subsecretaria de Desarrollo Infantil

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte"

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA

DM-2013-070

Quito, 17 de mayo de 2013

Señor
Marcelo Ordoñez
SUBSECRETARIO DE DESARROLLO INFANTIL DEL MIES
Presente

De mi consideración:

Reciba usted un cordial saludo de todos quienes conformamos el Departamento de Matemática de la Escuela Politécnica Nacional.

La profesora Sandra Gutiérrez PhD., miembro de Departamento de Matemática se encuentra realizando el proyecto semilla "Caracterización de los efectos de malnutrición y desnutrición a nivel nacional en grupos infantiles vulnerables y asociación de dietas adecuadas mediante modelos de optimización multiperiodo estacionales", para lo cual es necesario contar con información relacionada con los procesos de elaboración de menús y estándares de alimentación y preparación de comidas para los niños de los Centros Infantiles del Buen Vivir (CIBV).

Por tal motivo solicito a usted, de ser factible, se proporcione esta información a la Doctora Sandra Gutiérrez en medio magnético.

Los resultados del proyecto les serán entregados oportunamente.

Por la atención favorable al presente, le agradezco.

Atentamente,

Jaime Andrade González MS
Jefe Departamento de Matemática



ANEXO 5 Carta recibida de parte de la Subsecretaria con información de CIBV.



MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL

Oficio Nro. MIES-SDII-2013-0065-OF

Quito, 05 de junio de 2013

Asunto: SE REMITE INFORMACIÓN SOBRE PROCESOS DE ELABORACION DE MENUS Y STANDARES DE ALIMENTACION Y PREPARACION DE COMIDAS PARA CIBV

Jefe Departamento de Matematica
Jaime Andrade Gonzalez
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
En su Despacho

De mi consideración:

En respuesta al Documento No. DM-2013-070 en el que se solicita información sobre procesos de elaboración de menús y estándares de alimentación y preparación de comidas, aplicados en los Centros Infantiles del Buen Vivir, y con el propósito de contribuir a la construcción de una línea base en temas de salud, alimentación y estado nutricional de las niñas y niños en el Ecuador, nos permitimos remitir en archivos adjuntos los documentos relativos al servicio de alimentación en los CIBV que se ejecutan a través de este Ministerio.

Comprometemos a su Institución para que toda información generada en el marco de la investigación sea transferida a la Subsecretaría de Desarrollo Infantil Integral.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,


Lcdo. Jorge Marcelo Ordóñez Rodas
SUBSECRETARIO DE DESARROLLO INFANTIL INTEGRAL

Referencias:
- MIES-CAF-DA-2013-0304-EXT

Anexos:
- oficio- dm- 2014-070 001.jpg
- Copia de X10000071.xls
- Copia de ANEXO 2-PLANIFICACIÓN DEL MENÚ .xls
- Copia de ANEXO 3-ESTIMATIVO DE INGREDIENTES DEL MENU SEMANL.xls
- Copia de ANEXO 4-PORCIONES NORMALES POR ALIMENTO Y PREPARACION.xls
- DOCUMENTO_CONCEPTUAL_COMPLETO_30-01-2013.doc

sr

ANEXO 6 Grupos de alimentos clasificados mediante el análisis por conglomerados.

Grupo 1					
Leche pasteurizada	Yogurth	Queso de comida	Queso de mesa	Huevos	Chocho cocinado
Grupo 2					
Carne de borrego	Carne de cerdo	Cuero de cerdo	Pollo	Carne de res	Hígado de res
Pescado picudo					
Grupo 3					
Librillo	Pescado dorado	Haba tierna	Aguacate	Acelga	Apio
Berro	Brocoli	Espinanca	Nabo	Pepinillo	Vainita cruda
Zuquini	Chirimoya	Maracuya			
Grupo 4					
Arveja seca	Arveja tierna	Frejol tierno	Frejol seco	Haba seca	Habichuela
Lenteja negra	Tamarindo	Arroz flor	Avena	Canguil	Cebada
Arroz de cebada	Maiz amarillo (fresco)	Maiz amarillo (seco)	Maiz blanco de la sierra	Morocho seco	Quinua
Fideo	Choclo	Pan de sal	Harina de haba	Harina de maiz	Harina de trigo
Grupo 5					
Achogcha	Zapallo	Cebolla blanca	Cebolla paiteña	Col verde	Coliflor
Lechuga	Pimiento verde	Rábano	Remolacha cruda	Tomate de riñon	Zambo tierno
Zanahoria amarilla cruda	Babaco	Claudia amarilla	Ciruela	Frutilla	Granadilla
Guanabana	Guayaba	Kiwi	Lima dulce	Limón sutil	Mandarina
Manzana	Melon	Mora	Naranja dulce	Naranjilla	Papaya
Pepino	Pera del pais	Piña	Sandia	Zapote	Taxo
Tuna blanca	Uva	Melloco	Oca fresca	Papa nabo	
Grupo 6					
Durazno	Mango de chupar	Platano barraganete (verde)	Platano barraganete (maduro)	Platano dominico (verde)	Platano dominico (maduro)
Platano orito maduro	Platano de seda (verde)	Platano de seda (maduro)	Tomate de arbol	Camote morado	Papa chola
Yuca blanca	Zanahoria blanca	Almidon de yuca	Maicena		

ANEXO 7 Formulación y datos de modelos implementados.

Anexo 7.1

Formulación del modelo real en zimply y datos utilizados en su resolución (modelo 1).

Anexo 7.2

Formulación del modelo entero sin variedad en ZIMPL y datos utilizados en su resolución (Modelo 2).

Anexo 7.3

Formulación del modelo entero semanal sin variedad en ZIMPL y datos utilizados para su resolución (Modelo 3).

Anexo 7.4

Formulación del modelo entero semanal con variedad en ZIMPL y datos utilizados para su resolución (Modelo 4).

Anexo 7.5

Formulación del modelo final binario semanal con variedad en ZIMPL y datos utilizados para su resolución (Modelo 5).

ANEXO 8 Resultados del análisis por conglomerados.**Anexo 8.1**

Resultados y tablas con clasificación de alimentos con el nutriente caroteno.

Anexo 8.2

Resultados y tablas con clasificación de alimentos sin el nutriente caroteno.

ANEXO 9 Datos de producción de los alimentos.

Datos referentes a la producción de 92 alimentos de las bases del INEC.

ANEXO 10 Análisis de dietas de la parroquia de Tanicuchi

Incluye el análisis para las dietas implementadas actualmente para una semana en la provincia de Cotopaxi, parroquia Tanicuchi.

ANEXO 11 Series de precios de alimentos

Gráficos de las series de precios de alimentos de los cuales se posee información.