



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA QUÍMICA – BIOINGENIERÍA ALIMENTOS

APLICACIÓN DE UN ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN  
SUPLEMENTO ALIMENTICIO ENFOCADO EN MALNUTRICIÓN PROTEÍNICO-  
ENERGÉTICA

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

Q.A. GERARDO RAFAEL SOTO MALDONADO

TUTORA:

DRA. MARÍA SOLEDAD CÓRDOVA AGUILAR

INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y TECNOLOGÍA, UNAM

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Sámano Castillo José Sabino

Secretario: Dra. Severiano Pérez Patricia

Vocal: Dr. Tecante Coronel Alberto

1er. Suplente: Dr. Ascanio Gasca Gabriel

2do. Suplente: Dra. Córdova Aguilar María Soledad

Lugar donde se realizó la tesis:

LABORATORIO DE INGENIERÍA DE PROCESO, INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y  
TECNOLOGÍA-UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, CDMX.

**TUTOR DE TESIS:**

DRA. MARÍA SOLEDAD CÓRDOVA AGUILAR

-----  
**FIRMA**

**Parte de la información contenida en esta tesis es confidencial debido a que constituye un instrumento de propiedad intelectual.**

Se agradece el apoyo de CONACYT asociado con la beca nacional de maestría CVU: 747118.

Al Grupo de Ingeniería de Proceso del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitir el desarrollo de este proyecto dentro de sus instalaciones; así como a la Dra. María Soledad Córdova Aguilar por el soporte técnico, dirección y orientación para la realización del presente trabajo.

A los miembros del jurado: Dr. José Samano Castillo, Dra. Patricia Severiano Pérez, Dr. Alberto Tecante Coronel y Dr. Gabriel Ascanio Gasca por su invaluable apoyo y asesoría durante la revisión de esta tesis.

A la Dra. Isadora Martínez por su soporte técnico en el análisis estadístico y asesoría en evaluación sensorial.

A la Q.A. Agueda García y al Laboratorio de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Veterinaria por su apoyo en los análisis de proteína y aminoácidos.

Al grupo del trabajo del Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Química por su apoyo en la realización de pruebas afectivas dentro de sus instalaciones.

A la estudiante Ilse Matilde Mendoza Ortega por su soporte técnico en la caracterización y obtención de harinas.

## **Agradecimientos personales**

### ***Familiares:***

A mi papá por ser ejemplo de dedicación y pasión por el trabajo y siempre creer en mí y apoyarme.

A mi mamá por todo su cariño y enseñanzas, por ayudarme a crecer y por la entrega a la familia y amor.

A mi hermano Eco, porque siempre aprendo de ti, por todo tu cariño y las aventuras que hemos tenido y por mi admiración por tus ocurrencias.

A mi abuelita Berthita porque es un ejemplo de vida, por la admiración por su fortaleza y por todo su cariño

A mi tía María Elena, por su generosidad y bondad.

Porque no podría alcanzar mis logros sin su incondicional apoyo y amor.

### ***Universidad:***

Agradezco a la Facultad de Química de la UNAM por su excelencia en formación profesional. Porque todo el aprendizaje a lo largo de la licenciatura y maestría no tiene costo.

Al Programa de Maestría en Ingeniería Química, porque me ha reafirmado que debo ser un profesionista crítico en búsqueda de la mejora continua, tal como visualizo el programa de Alimentos y sus áreas de oportunidad.

Al Dr. Eduardo Bárzana, Dr. Eduardo Rodríguez Bustamante, Dr. Héctor Torres Domínguez, Dr. José Sámano y M.I. Jorge Rodríguez Rubio por compartir su conocimiento de manera asequible, por su esfuerzo, dedicación y accesibilidad.

### ***Tesis***

A la Dra. Marisol Córdova, por su excelente calidad humana y confianza plena en mí. Mi total admiración y agradecimiento, ya que gracias a ella, este trabajo pudo ser concebido y realizado. Porque su energía, empeño y esfuerzo ha permitido consolidar el Laboratorio de Ingeniería de Proceso del ICAT.

Al Dr. Gabriel Ascanio, por su profesionalismo y por permitirme que sea tutor sustituto.

A la Dra. Paty Severiano, por su gran apoyo y amistad, por su dedicación, dinamismo y optimismo y disponibilidad pese a sus miles de ocupaciones. Por dar visibilidad al conocimiento en alimentos y proyección a la evaluación sensorial.

A los chicos del laboratorio de Ingeniería de Proceso: Ilse Mendoza, Gabriel Toxtle, Diana X. Peña, Blanca Corona, Mónica Montoya, Miguel Ángel Bazán, Daniel Mójica, Esperanza Velázquez, Marilú González, Erick Verdeja, Sania Flores, Stephany Cano, Isadora Martínez y Gaby Tinajero.

A Maggie Sanvicente, Gaby Neria y Cintya Méndez porque su trabajo fue la base para éste, porque es una cadena que va creciendo.

### ***Amigos***

A mis amigos de la Licenciatura, por la amistad que seguiré a Karen (Karnitas), Oscar, Solache, Diana, Moni (Monik kon k) y Selene (Selenio).

A mis amigos QA por permitirme ser parte de sus logros y por su apoyo y diversión: Sofy, Oscar, Erikita, David, Poncho, Nancy QA (Arizmendi, 2019), Falcón, Valadez (para que no peleen por el nombre), Karen y Mariel.

**A la vida, al flujo que vuelve al río, por darme una segunda oportunidad para crecer y desempeñarme en lo que quiero y creo. Por la risa felicidad y aprendizaje por siempre.**

# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</b> .....                                  | <b>8</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....                                       | <b>10</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                                       | <b>11</b> |
| <b>RESUMEN</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>2 JUSTIFICACIÓN</b> .....   | <b>15</b> |
| <b>3 OBJETIVOS</b> .....   | <b>17</b> |
| <b>3.1 Objetivo General</b> .....                                    | <b>17</b> |
| <b>3.2 Objetivos Particulares</b> .....                              | <b>17</b> |
| <b>4 MARCO TEÓRICO</b> .....   | <b>18</b> |
| <b>4.1 Malnutrición</b> .....  | <b>18</b> |
| 4.1.1 Desnutrición .....   | 18        |
| 4.1.2. Malnutrición proteínico-energética .....                      | 20        |
| 4.1.3. Síndrome de anorexia-caquexia.....                            | 22        |
| 4.1.4. Malnutrición proteínico-energética en niños .....             | 22        |
| 4.1.5. Kwashiorkor .....   | 25        |
| 4.1.6. Marasmo .....   | 25        |
| 4.1.7. Malnutrición proteínico-energética en adultos .....           | 26        |
| <b>4.2 Suplementos alimenticios</b> .....                            | <b>27</b> |
| 4.2.1 Proteína de origen no animal.....                              | 29        |
| 4.2.2 PDCCAS y Digestibilidad .....                                  | 30        |
| 4.2.3 Complementación proteínica cereal/legumbres .....              | 31        |
| 4.2.4 Suplementos alimenticios para MPE.....                         | 32        |
| 4.2.5 Aspectos clave en el diseño de un suplemento alimenticio ..... | 33        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.3 Programación lineal .....</b>   | <b>34</b> |
| 4.3.1 Variables de decisión .....  | 35        |
| 4.3.2 Función objetivo.....  | 36        |
| 4.3.3 Restricciones .....  | 36        |
| 4.3.4 Modelo matemático de programación lineal.....                          | 37        |
| 4.3.5 Algoritmos .....   | 37        |
| 4.3.6 Programación lineal entera mixta .....                                 | 38        |
| 4.3.7 Programación lineal en el desarrollo de suplementos alimenticios ..... | 39        |
| <br>   |           |
| <b>5 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>   | <b>41</b> |
| <br>   |           |
| <b>5.1. Materiales.....</b>  | <b>41</b> |
| 5.1.1 Harinas .....  | 41        |
| 5.1.2 Saborizante en polvo.....  | 41        |
| 5.1.3 Sacarosa .....   | 41        |
| 5.1.4 Maltitol.....  | 42        |
| 5.1.5 Agua potable .....   | 42        |
| <br>   |           |
| <b>5.2 Metodología .....</b>   | <b>42</b> |
| 5.2.1 Estrategia experimental .....  | 42        |
| 5.2.2 Análisis estadístico .....   | 42        |
| <br>   |           |
| <b>5.3 Métodos .....</b>   | <b>44</b> |
| 5.3.1 Caracterización fisicoquímica.....                                     | 44        |
| 5.3.2 Solución del algoritmo .....   | 46        |
| 5.3.3 Reformulación del suplemento.....                                      | 47        |
| 5.3.4 Selección de propuesta más viable .....                                | 47        |
| <br>   |           |
| <b>6 RESULTADOS .....</b>  | <b>52</b> |
| <br>   |           |
| <b>6.1 Selección de la Materia Prima .....</b>                               | <b>52</b> |
| <br>   |           |
| <b>6.2 Caracterización fisicoquímica de la Materia Prima .....</b>           | <b>56</b> |
| <br>   |           |
| <b>6.2 Programación lineal .....</b>   | <b>59</b> |
| 6.2.1 Planteamiento del problema .....                                       | 59        |
| 6.2.2 Solución del algoritmo. ....   | 63        |
| 6.2.3 Análisis de sensibilidad de la solución.....                           | 65        |
| 6.2.4 Reformulación del suplemento.....                                      | 67        |
| 6.2.4.1 Caracterización fisicoquímica de los suplementos .....               | 69        |
| 6.2.4.1 Perfil Flash .....   | 71        |
| <br>   |           |
| <b>6.3 Análisis del Proceso Jerárquico .....</b>                             | <b>73</b> |
| 6.3.1 Criterio de estabilidad.....   | 73        |
| 6.3.2 Criterio del proceso.....  | 75        |
| 6.3.2.1 Diagramas de bloques para el proceso de obtención de harinas .....   | 76        |
| 6.3.2.2 Curvas de secado y molienda de harinas de hongos y leguminosas. .... | 78        |

|  |            |
|--|------------|
| 6.3.2.3 Métricas del proceso .....                                   | 82         |
| 6.3.3 Criterio sensorial .....                                       | 83         |
| 6.3.3.1 Hábitos de consumo .....                                     | 83         |
| 6.3.3.2 Prueba de ordenamiento de Friedman .....                     | 86         |
| 6.3.3.3 Nivel de agrado .....  | 86         |
| 6.3.3.4 Prueba de aceptación .....                                   | 90         |
| 6.3.3.5 Mapa de preferencia externo .....                            | 92         |
| 6.3.4 Análisis del Proceso Jerárquico (AHP) .....                    | 93         |
| <b>6.4 Evaluación nutrimental del suplemento para MPE.....</b>       | <b>96</b>  |
| 6.4.1 AQP del suplemento para MPE .....                              | 97         |
| 6.4.2 Calidad de Proteína .....                                      | 98         |
| 6.4.3 Evaluación nutrimental del producto .....                      | 99         |
| <b>7 CONCLUSIONES.....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>8 PERSPECTIVAS .....</b>  | <b>102</b> |
| <b>9 BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>103</b> |
| <b>10 ANEXOS.....</b>  | <b>114</b> |
| <b>ANEXO 1 Elaboración del suplemento alimenticio .....</b>          | <b>114</b> |
| <b>ANEXO 2 Cálculo de curvas de secado.....</b>                      | <b>115</b> |
| <b>ANEXO 3 Cuestionario de evaluación sensorial .....</b>            | <b>119</b> |
| <b>ANEXO 4 Análisis estadístico materia prima .....</b>              | <b>120</b> |
| <b>ANEXO 5 Análisis estadístico producto en polvo.....</b>           | <b>127</b> |
| <b>ANEXO 6 Análisis estadístico producto listo para consumo.....</b> | <b>130</b> |
| <b>ANEXO 7 Análisis estadístico Perfil de Textura.....</b>           | <b>132</b> |
| <b>ANEXO 8 Análisis estadístico prueba de Friedman .....</b>         | <b>134</b> |
| <b>ANEXO 9 Análisis estadístico nivel de agrado.....</b>             | <b>135</b> |



# Índice de Abreviaturas

|                         |  |                             |   |
|-------------------------|--|-----------------------------|---|
| A                       | Alanina  | Eu                          | Europea   |
| AA                      | aminoácido   | F                           | Fenilalanina  |
| ACC-Qtag                | <i>6-aminoquinolil-N hidroxisuccinimidil carbamato</i> | F1                          | componente 1 del ACP                                |
| AE                      | Aminoácidos esenciales                                 | F2                          | componente 2 del ACP                                |
| AHP                     | Análisis del Proceso Jerárquico                        | FAO                         | Organización para la Alimentación y la Agricultura* |
| $\alpha$                | nivel de confianza                                     | Fed                         | Federal   |
| A <sub>n</sub>          | abreviación de aminoácido                              | FO                          | función objetivo                                    |
| Am                      | Americana  | G                           | Glicina   |
| ANOVA                   | Análisis de Varianza                                   | G'                          | módulo de almacenamiento                            |
| AOAC                    | Asociación Oficial de Químicos Analíticos              | G''                         | módulo de pérdida                                   |
| A <sub>s</sub>          | área de secado   | G*                          | módulo complejo                                     |
| ASEAN                   | Asociación de Naciones del Sudeste Asiático            | $\dot{\gamma}$              | velocidad de deformación                            |
| ASPEN                   | Sdad Am para la Nutrición Parenteral y Enteral*        | gA <sub>n</sub>             | gramos de aminoácido esencial                       |
| aw                      | actividad de agua                                      | GPA                         | Análisis de Procrustes Generalizado*                |
| B                       | limitación del recurso                                 | H                           | Histidina   |
| b <sub>n</sub>          | coeficiente  | %H                          | porcentaje de humedad                               |
| C                       | Cisteína   | %H <sub>f</sub>             | porcentaje de humedad al final del secado           |
| CAC/GL                  | Directrices Generales del Codex Alimentarius*          | HPLC                        | Cromatografía líquida de alta resolución*           |
| Carb                    | Contenido de carbohidratos                             | I                           | Isoleucina  |
| CENETEC                 | Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud     | ICAT                        | Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología        |
| CIELAB                  | espacio de color L*a*b                                 | IFAD                        | Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola*         |
| COFEPRIS                | Comisión Fed para la Prot contra Riesgos Sanitarios    | IMC                         | Índice de Masa Corporal                             |
| D                       | Asparagina   | IN                          | información nutrimental                             |
| D <sub>e</sub>          | difusividad efectiva                                   | INSP                        | Instituto Nacional de Salud Pública                 |
| DE                      | desviación estándar                                    | k                           | índice de consistencia                              |
| DEN                     | denominador  | K                           | Lisina  |
| $\delta$                | ángulo de fase   | L                           | Leucina   |
| $\delta w_{\downarrow}$ | ángulo de fase a bajas frecuencias                     | $\lambda$                   | dimensión característica                            |
| DIPR                    | Development Initiatives Poverty Research               | Lip                         | Contenido de lípidos                                |
| DMS                     | diferencia mínima significativa                        | M                           | Metionina   |
| DMSH                    | Diferencia Mínima Significativa Honesta                | m <sub>H<sub>2</sub>O</sub> | masa de agua  |
| DPC                     | Desnutrición Proteínico-Calórica                       | m <sub>i</sub>              | masa de muestra de secado                           |
| dsb                     | sólidos solubles en agua                               | m <sub>f</sub>              | masa de sólido al final del secado                  |
| dt                      | diferencial de tiempo                                  | max                         | función valor máximo                                |
| dx                      | diferencial de humedad libre                           | min                         | función valor mínimo                                |
| E                       | Glutamina  | MIT                         | Instituto de Tecnología de Massachusetts*           |
| ENSANUT                 | encuesta nacional de salud                             | MP                          | materia prima                                       |
| EOF                     | Hellenic Medicine Organization                         | MPE                         | Malnutrición Proteínico-Energética                  |
| EPM                     | Mapa de Preferencia Externo                            | m <sub>ss</sub>             | masa de sólidos secos                               |
| ESPEN                   | Sdad Eu para la Nutrición Clínica y el Metabolismo*    | n                           | índice de comportamiento de flujo                   |

|        |  |          |  |
|--------|--|----------|--|
| NDB    | Base de Datos Nacional (EUA)*                              | %S       | porcentaje de sedimentación                    |
| NHS    | Servicio Nacional de Salud (RU)*                           | sdad     | sociedad                                       |
| NOM    | Norma Oficial Mexicana                                     | $\sigma$ | esfuerzo cortante                              |
| OMS    | Organización Mundial de la Salud                           | ss       | sólidos secos                                  |
| P      | Prolina  | SSA      | Secretaría de Salud (México)                   |
| p      | valor de probabilidad estadístico bajo hipótesis nula      | st       | sólidos totales                                |
| PC     | Proteína cruda   | t        | tiempo   |
| PD     | Proteína digerible   | T        | Treonina                                       |
| PDCAAS | Puntuación de aa corregida por digestibilidad de proteínas | tan      | función tangente                               |
| %PD/PC | relación de proteína corregida por digestibilidad          | $\tau_0$ | límite elástico                                |
| PE     | poder edulcorante  | TPA      | Análisis del Perfil de Textura                 |
| PF     | Perfil Flash   | $t_s$    | tiempo de secado total                         |
| pH     | potencial de Hidrógeno                                     | UNICEF   | Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia* |
| PL     | programación lineal  | UNU      | Universidad de las Naciones Unidas*            |
| PLB    | programación lineal binaria                                | UV       | Espectroscopia Ultravioleta                    |
| PLE    | programación lineal entera                                 | V        | Valina   |
| PLEM   | programación lineal entera mixta                           | W        | Triptófano                                     |
| Prot   | Protección   | WBG      | Grupo del Banco Mundial*                       |
| R      | Arginina   | WFP      | Programa Mundial de Alimentos*                 |
| $R_c$  | velocidad de secado en el periodo constante                | $x_0$    | humedad media inicial                          |
| $\rho$ | densidad   | $x_{eq}$ | humedad media al equilibrio                    |
| RLV    | región viscoelástica lineal                                | $x_f$    | humedad media final                            |
| RPN    | Relación Proteínica Neta                                   | $x_i$    | humedad media libre                            |
| $R_s$  | velocidad de secado  | $x_n$    | variable de decisión                           |
| S      | Serina   | Y        | Tirosina                                       |

\* Por sus siglas en inglés

## Índice de Cuadros

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Cuadro 4.1 Respuesta adaptativa a la inanición respecto al tiempo. ....</i>                   | <i>21</i> |
| <i>Cuadro 4.2 Tipos de clasificación de MPE en niños. ....</i>                                   | <i>24</i> |
| <i>Cuadro 4.3 Clasificación de MPE en adultos asociada al IMC. ....</i>                          | <i>26</i> |
| <i>Cuadro 4.4 Clasificación de suplementos según la Hellenic Medicine Organization. ....</i>     | <i>27</i> |
| <i>Cuadro 4.5 Patrones de referencia de score de aminoácidos para adultos. ....</i>              | <i>31</i> |
| <i>Cuadro 5.1 Resumen de las propuestas para la reformulación de la mezcla de harinas. ....</i>  | <i>47</i> |
| <i>Cuadro 5.2 Indicadores de toma de decisión y pesos asignados. ....</i>                        | <i>48</i> |
| <i>Cuadro 6.1 Resultados de AQP y proteína digerible de las muestras utilizadas. ....</i>        | <i>52</i> |
| <i>Cuadro 6.2 Resultados del perfil de aminoácidos y PDCAAS de las muestras utilizadas. ....</i> | <i>55</i> |
| <i>Cuadro 6. 3 Resultados de análisis fisicoquímicos de la materia prima utilizada. ....</i>     | <i>57</i> |
| <i>Cuadro 6. 4. Primera solución del algoritmo de optimización. ....</i>                         | <i>65</i> |
| <i>Cuadro 6. 5. Resumen de propuestas de suplemento alimenticio para MPE mediante PL. ....</i>   | <i>66</i> |
| <i>Cuadro 6. 6 Reformulación de suplementos. ....</i>  | <i>68</i> |
| <i>Cuadro 6. 7. Parámetros fisicoquímicos de los suplementos para MPE en polvo. ....</i>         | <i>69</i> |
| <i>Cuadro 6.8. Parámetros fisicoquímicos de los suplementos listos para consumo. ....</i>        | <i>70</i> |
| <i>Cuadro 6. 9 Análisis de Perfil de Textura del suplemento para MPE. ....</i>                   | <i>74</i> |
| <i>Cuadro 6. 10 Parámetros de secado con la primera y segunda curva de secado. ....</i>          | <i>80</i> |
| <i>Cuadro 6. 11. % de rendimiento para la molienda de las harinas para suplemento. ....</i>      | <i>81</i> |
| <i>Cuadro 6. 12. Métricas del proceso para elaborar 100 g de suplementos alimenticios. ....</i>  | <i>82</i> |
| <i>Cuadro 6. 13. Frecuencia de ordenamiento de las muestras evaluadas. ....</i>                  | <i>86</i> |
| <i>Cuadro 6. 14. Media estimada del nivel de agrado de las muestras evaluadas. ....</i>          | <i>87</i> |
| <i>Cuadro 6. 15. Aspectos positivos y puntos de mejora de los productos evaluados. ....</i>      | <i>91</i> |
| <i>Cuadro 6. 16. Resultados obtenidos de los indicadores seleccionados para el AHP. ....</i>     | <i>94</i> |
| <i>Cuadro 6. 17 Función de Valor para los indicadores seleccionados para el AHP. ....</i>        | <i>95</i> |
| <i>Cuadro 6. 18. Comparación del análisis químico proximal de la muestra 161. ....</i>           | <i>97</i> |
| <i>Cuadro 6. 19 Comparación de la calidad de proteína de la muestra 161. ....</i>                | <i>98</i> |
| <i>Cuadro 6. 20. Comparación de la calidad de proteína. ....</i>                                 | <i>99</i> |

## Índice de Figuras

|   |            |
|---|------------|
| <i>Figura 1. Iceberg de la malnutrición proteínico-energética..</i>                               | <i>25</i>  |
| <i>Figura 2. Ejemplo de etiqueta de suplemento alimenticio conforme a la legislación.</i>         | <i>28</i>  |
| <i>Figura 3. Calidad de proteína vs porcentaje de complementación proteínica de mezclas. .</i>    | <i>32</i>  |
| <i>Figura 4. Clasificación de los tipos de optimización. ....</i>                                 | <i>38</i>  |
| <i>Figura 5. Harinas utilizadas para la optimización del suplemento. ....</i>                     | <i>41</i>  |
| <i>Figura 6. Diagrama de proceso de estrategia experimental. ....</i>                             | <i>43</i>  |
| <i>Figura 7. Evaluación de las propuestas de suplementos con consumidores. ....</i>               | <i>51</i>  |
| <i>Figura 8. Densidad de calorías para las muestras de harinas. ....</i>                          | <i>54</i>  |
| <i>Figura 9. Hoja de cálculo con el planteamiento del modelo. ....</i>                            | <i>63</i>  |
| <i>Figura 10. Solución de la optimización mediante la serie de algoritmos RASON. ....</i>         | <i>64</i>  |
| <i>Figura 11. Espacio sensorial de atributos de aspecto y textura de los suplementos MPE. .</i>   | <i>71</i>  |
| <i>Figura 12. Espacio sensorial de atributos de olor y sabor de los suplementos para MPE. ..</i>  | <i>72</i>  |
| <i>Figura 13. Gráfica de araña para el TPA relativo a los suplementos para MPE .....</i>          | <i>75</i>  |
| <i>Figura 14. Diagrama de bloques para la obtención de las harinas 01 y 02 .....</i>              | <i>76</i>  |
| <i>Figura 15. Diagrama de bloques para la obtención de las harinas 03, 04 y 09. ....</i>          | <i>77</i>  |
| <i>Figura 16. Primera curva de secado para las harinas de hongo y leguminosas. ....</i>           | <i>78</i>  |
| <i>Figura 17. Segunda curva de secado para las harinas de hongo y leguminosas. ....</i>           | <i>79</i>  |
| <i>Figura 18. Porcentaje de consumidores que han probado bites de proteína. ....</i>              | <i>83</i>  |
| <i>Figura 19. Porcentajes de las fuentes principales de proteína en la dieta por género. ....</i> | <i>84</i>  |
| <i>Figura 20. Percepción positiva de fuentes de proteína por la dieta de los consumidores. ..</i> | <i>85</i>  |
| <i>Figura 21. Familiaridad con fuentes de proteína de origen no animal .....</i>                  | <i>85</i>  |
| <i>Figura 22. Comparación de nivel de agrado en sabor de las muestras. ....</i>                   | <i>87</i>  |
| <i>Figura 23. Comparación del nivel de agrado de la textura de las muestras. ....</i>             | <i>88</i>  |
| <i>Figura 24. Comparación del nivel de agrado del resabio de las muestras. ....</i>               | <i>89</i>  |
| <i>Figura 25. Comparación del nivel de agrado de los productos en general. ....</i>               | <i>89</i>  |
| <i>Figura 26. Porcentaje de aceptación de las muestras más preferidas. ....</i>                   | <i>90</i>  |
| <i>Figura 27. %Importancia de la información nutrimental para la decisión de compra. ....</i>     | <i>91</i>  |
| <i>Figura 28. Mapa de preferencia externo de las muestras de suplemento alimenticio .....</i>     | <i>92</i>  |
| <i>Figura 29. Estudio de sensibilidad para todos los indicadores seleccionados. ....</i>          | <i>96</i>  |
| <i>Figura 30. Comparación del PDCAAS de los suplementos enfocados en MPE. ....</i>                | <i>100</i> |

## RESUMEN

La malnutrición proteínico-energética es considerada uno de los principales desafíos de salud pública en el mundo, la cual se asocia con enfermedades como cáncer o VIH y tiene como causas principales un consumo inadecuado de proteína y aminoácidos. Por ello, es necesario utilizar nuevos enfoques para diseñar formulaciones y dietas que sean accesibles y aceptables para su público objetivo.

Uno de estos enfoques es la programación lineal (PL), dada su velocidad, eficiencia, versatilidad y capacidad de considerar una amplia gama de restricciones en sus modelos. Sin embargo, este método no se ha aplicado para soluciones de optimización de puntuación de aminoácidos esenciales corregidos por digestibilidad de proteína (PDCAAS). Por ello, el objetivo de este estudio consistió en desarrollar cuatro mezclas de productos locales para satisfacer una alta calidad de proteína siguiendo las recomendaciones establecidas por la FAO y la cantidad de proteína recomendable en pacientes con malnutrición. Dichos productos se caracterizan por no contener proteína de origen animal o aminoácidos en polvo.

Para el modelo de PL se consideraron diez productos locales y ocho ecuaciones de restricción correspondientes a cada aminoácido esencial, así como la suma de éstas para la propuesta de función objetivo linealizada. Como resultado, se obtuvieron cuatro soluciones que satisfacen un alto contenido de proteína. Para seleccionar la mejor propuesta se aplicó un análisis del proceso jerárquico considerando 4 criterios: Estabilidad (porcentaje de sinéresis), Proceso (viabilidad técnica, tiempo de secado y rendimiento), Sensorial (nivel de agrado y preferencia) y Nutricional (cantidad de proteína digerible, PDCAAS y porcentaje de energía), donde el producto mejor evaluado presenta una función de valor de 85.96 %.

Tras seleccionar la mejor propuesta se realizó un estudio de su composición química y perfil de aminoácidos, obteniendo un producto con contenido de proteína de 26.89 % y desviación de 6.1 % entre el valor calculado y el experimental y un PDCAAS de 76 % con una desviación de 12 %. Aun así, el producto es clasificado como de alto valor biológico y presenta una mejoría entre el 16 y 45 % respecto a los productos elaborados anteriormente por el ICAT. Como consecuencia, este estudio demuestra que un enfoque de programación lineal con productos locales de origen no animal permite proveer una fuente de proteína de bajo costo y mayor sostenibilidad lo que es una base para que se pueda reducir la prevalencia de malnutrición en países en vías de desarrollo.

La malnutrición es uno de los principales desafíos de salud pública en el mundo, se estima que una de cada tres personas sufre algún tipo de malnutrición; además, ésta es la principal causa de morbilidad en la actualidad donde aproximadamente 2 mil millones de personas sufren deficiencia en micronutrientes, 2 mil millones de adultos sobrepeso y obesidad y 800 millones de personas alguna deficiencia del tipo calórica energética (UNICEF DIPR, 2016). En Latinoamérica, donde la pobreza afecta a una tercera parte de la población y la desnutrición a una sexta parte, se ha observado que existe una relación directa entre la pobreza, la desigualdad social, los factores ambientales y culturales y la alimentación y la seguridad alimentaria (Jiménez-Benítez, Rodríguez-Martín, y Jiménez-Rodríguez, 2010).

La malnutrición proteínico-energética (MPE), también denominada desnutrición proteínico-calórica (DPC) es uno de los principales tipos de malnutrición asociados con la mortalidad y morbilidad, la cual es definida como un síndrome de deficiencia de macronutrientes que incluye marasmo, kwashiorkor, enanismo nutricional y pérdida de masa corporal asociada con enfermedades cuya causa principal es la falta de acceso a una ingesta adecuada de nutrientes (Klein, 2012).

El tratamiento de esta patología con terapia nutricional puede resultar efectivo para MPE primaria y MPE secundaria causada por disfunciones que afecten el tracto intestinal, o puede aminorar los efectos secundarios de caquexia y otras enfermedades críticas (Chhabra y Chhabra, 2012). El objetivo del soporte nutricional es asegurar que la ingesta total de nutrientes provea energía, proteínas y micronutrientes suficientes para corregir los déficits y cumplir las necesidades de los pacientes. Cuando este apoyo sea insuficiente para asegurar los requisitos nutrimentales, los pacientes necesitarán suplementos de productos alimenticios para nutrición oral. Sin embargo, no existe una sola estrategia sencilla, universal y económica que pueda aplicarse para reducir la prevalencia o gravedad de la MPE (Latham, 2002).

Estudios previos del ICAT, se han enfocado en el desarrollo de suplementos alimenticios a base de harinas vegetales para síndrome de recuperación de cirugía bariátrica (Dunzz, 2018) malabsorción (Sanvicente, 2018) y cirrosis (Méndez, 2018), lo que ha permitido dimensionar las necesidades y requisitos para el diseño de un suplemento alimenticio mediante la calificación de calidad de proteína conocida como el *score* de aminoácidos esenciales que corresponde a la cantidad de cada aminoácido recomendada por gramo de proteína (PDCAAS) y la cantidad de proteína digerible, que corresponde a la cantidad de proteína absorbida y por lo tanto metabolizada por un organismo (Schaafsma, 2000), además de la dieta basada en las necesidades nutrimentales del paciente objetivo.

Una vez que el suplemento sea capaz de brindar el soporte nutricional adecuado, se debe realizar la evaluación sensorial del producto para conocer la aceptación del suplemento por parte del consumidor objetivo y la caracterización fisicoquímica y mecánica para garantizar su estabilidad, así como el estudio de la viabilidad técnica de su proceso para que la futura implementación y adherencia sea adecuada.

De tal manera que, para garantizar el cumplimiento de los criterios nutrimentales establecidos para el *score* de aminoácidos (FAO, OMS, y UNU, 2007) y la cantidad de proteína digerible (Holdoway, 2014) se propuso el planteamiento y aplicación de un algoritmo de programación lineal correspondiente a la optimización del *score* de aminoácidos seleccionando harinas de origen no animal, que presentan alta familiaridad, mejor densidad de nutrientes y costo accesible para el diseño de un suplemento alimenticio enfocado en malnutrición proteínico-energética en la población mexicana. Para elaborar así cuatro propuestas de suplementos evaluadas mediante el análisis del proceso jerárquico (AHP), a través de; un estudio afectivo del nivel de agrado y preferencia; un estudio mecánico de textura, fuerza y carácter del gel; un estudio del proceso de elaboración, mediante curvas de secado, rendimiento y las operaciones unitarias implicadas representándose en un diagrama a bloques. Para finalmente obtener los datos experimentales de digestibilidad, contenido de proteína, energía y aminoácidos esenciales de la propuesta con mejor función de valor para los criterios e indicadores establecidos.

Actualmente, ningún suplemento alimenticio comercializado se ha enfocado en el soporte nutricional de MPE, el costo elevado, origen lácteo y sabor desagradable de las alternativas recomendadas aunado a que este padecimiento suele afectar en su mayoría a la población de escasos recursos donde los programas de asistencia social de gobierno como PROSPERA (recientemente denominado Becas del bienestar) resultan insuficientes para dar seguimiento al tratamiento médico, lo que ha motivado el desarrollo de alternativas locales que cumplan las necesidades de dichos pacientes y la colaboración de hospitales para su uso. A pesar de ello, la malnutrición no es un problema exclusivo de países subdesarrollados pudiendo afectar al 42 % de la población mundial, (7.5-61 %) conforme a cada región (Webb et al., 2018; FAO et al., 2018). El propósito de este trabajo consiste en la aplicación de un algoritmo de optimización para diseñar un suplemento alimenticio enfocado en pacientes con malnutrición proteínico-energética maximizando la calidad de proteína mediante el *score* de aminoácidos corregido por digestibilidad de proteína (PDCAAS) a través de su función objetivo, desarrollando así cuatro propuestas de mezclas de harinas de origen no animal. Así también, se contempla el estudio y evaluación de los aspectos de proceso, textura, calidad nutricional y sensorial que garanticen la viabilidad del suplemento elaborado para la población objetivo.

Por lo tanto, la selección de materia prima resulta esencial para obtener el suplemento con las características deseadas. A pesar del uso extendido de proteína de origen animal, en especial lácteos, existen estudios (Noriega y Lindshield, 2014; Lartey et al., 1999) que sugieren que no existe diferencia significativa en la efectividad de los suplementos elaborados con proteína animal y que el costo del producto se eleva sin compensar el beneficio en el tratamiento de malnutrición moderada. Sin embargo, en mezclas de productos fortificados se resalta el valor biológico y biodisponibilidad de las proteínas de origen animal (Suri, Moorthy, y Rosenberg 2016); por lo mismo, la proteína de referencia para evaluar la calidad del patrón de aminoácidos de un producto, anteriormente era la proteína de huevo (Seuss-Baum, Nau, y Guérin-Dubiard 2011). No obstante, los alimentos de origen no animal presentan una mayor sustentabilidad, alta familiaridad para la población objetivo y mejor densidad de nutrientes, lo que disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares y facilita la aceptación de estos productos. Además, es posible garantizar la calidad de proteínas de acuerdo con la proporción de aminoácidos esenciales, mediante el uso de mezclas que garanticen su complementación (Tijhuis et al., 2011) siendo las harinas de origen no animal, principalmente cereales y legumbres, las que representan la mayor fuente de proteína para países en desarrollo (Millward, 1999).



El diseño de mezclas de harinas cereal/legumbre suele basarse en la teoría de complementación de calidad proteínica, donde la deficiencia de aminoácidos azufrados en legumbres (metionina y cisteína) se complementa con la deficiencia del aminoácido esencial lisina en cereales y la calidad de proteína es máxima en la proporción 50/50 como en maíz opaco/frijol negro; Sin embargo, se ha observado que la proporción de cereal/legumbre en la que la relación de proteína neta (calidad de proteína) es máxima difiere para cada combinación, ejemplo de ello son las mezclas maíz/soya (60/40) (FAO, 1992) o arroz/frijol negro (80/20) (UNU, 1979). De tal manera que la optimización basada en el *score* de aminoácidos de un suplemento alimenticio con más de dos cereales o legumbres difícilmente será efectiva en un diseño de mezclas. Por ejemplo, los suplementos para malabsorción anteriormente elaborados en el ICAT presentaron un *score* teórico menor de 60 % (Sanvicente, 2018), mientras que el suplemento para cirróticos un *score* de 64 % (Méndez, 2018) y el suplemento para pacientes bariátricos de 60 % (Dunzz, 2018).

El utilizar un algoritmo de optimización resulta benéfico en la medida en que se alimenta de los valores experimentales prediciendo así los valores obtenidos en cada combinación hasta encontrar la proporción que maximice el *score* basándose en el balance de materia de aminoácidos esenciales, así también, el planteamiento del algoritmo evita el uso de proteína o aminoácidos en polvo, lo que elevaría el costo del producto.

Esta propuesta es novedosa, ya que, a pesar de que la optimización de dietas ha sido abordada extendidamente a través de programación lineal, para los casos de proteína suele resolverse mediante la adición de aminoácidos en polvo o fuentes puras de carbohidratos o lípidos sin considerar el *score* de aminoácidos o los valores experimentales de la materia prima, además de considerar una menor serie de restricciones, enfocándose en costo y energía, y no contemplar casos de programación entera mixta. En este caso, el planteamiento parte de diez harinas de origen no animal, ocho restricciones provenientes del *score* de aminoácidos esenciales para el suplemento, un término binario para la solución de la función objetivo y la limitación del intervalo (85-95 %) para cada puntuación de los ocho aminoácidos esenciales. Todo ello con el fin de garantizar que el suplemento desarrollado satisfaga las necesidades y características tecno funcionales con las que fue diseñado y convertirse en una alternativa de uso en el tratamiento de malnutrición proteínico-energética primaria y coadyuvante en la malnutrición proteínico-energética secundaria asociada con enfermedades subyacentes.

### 3.1 Objetivo General

Diseñar un suplemento alimenticio dirigido a pacientes con malnutrición proteínico-energética mediante el planteamiento y la aplicación de un algoritmo de optimización lineal. Evaluar las propiedades nutricionales, mecánicas, tecno funcionales, sensoriales y la viabilidad técnica de su proceso.

### 3.2 Objetivos Particulares

- ◆ Evaluar el análisis químico proximal, perfil de aminoácidos, proteína digerible, porcentaje de sedimentación, actividad de agua y color de las harinas de origen no animal utilizadas en la elaboración del suplemento para MPE para caracterizar la materia prima y construir las ecuaciones de restricción del modelo.
- ◆ Obtener cuatro propuestas de formulación mediante el planteamiento y solución de un algoritmo de optimización lineal entera mixta variando la cantidad de harina y restringiendo la función objetivo para obtener mezclas con una puntuación de aminoácidos superior al 75 %.
- ◆ Proponer un producto listo para consumo utilizando la mezcla de harinas como fuente de proteína, una matriz base, saborizantes y edulcorante para incrementar el nivel de agrado y la adherencia de los suplementos.
- ◆ Caracterizar la estabilidad de los productos mediante pruebas de análisis de perfil de textura (TPA) y porcentaje de sinéresis para establecer indicadores cuantitativos de este aspecto en la selección de la mejor propuesta.
- ◆ Evaluar la viabilidad técnica del proceso mediante curvas de secado, rendimiento y diagrama a bloques para cuantificar las diferencias en este criterio para las cuatro formulaciones.
- ◆ Evaluar el aspecto sensorial mediante pruebas afectivas con consumidores: nivel de agrado, preferencia y mapa de preferencia externo (EPM) para establecer y entender relaciones entre el nivel agrado de los productos y las características de los suplementos.
- ◆ Realizar un proceso analítico jerárquico (AHP) de acuerdo con los criterios de estabilidad, proceso, sensorial y nutrimental para seleccionar la propuesta de suplemento mejor evaluada.
- ◆ Comparar la calidad nutrimental de la muestra con mejor función de valor en función de los valores experimentales y teóricos del perfil de aminoácidos, proteína digerible y AQP para determinar si el modelo satisface los requerimientos establecidos.

## 4.1 Malnutrición

La malnutrición se define como la deficiencia, exceso o desequilibrio de un amplio intervalo de nutrientes, lo que deriva en efectos adversos en tejidos, masa corporal, forma del cuerpo y función física; por ejemplo: pérdida de masa, índice de masa corporal (IMC), y pérdida de apetito (White et al., 2012). Ésta puede incluir tanto hiponutrición como hipernutrición, por lo que se puede dividir en tres grandes grupos de afecciones (UNICEF/WHO/WBG, 2018).

- ◆ La desnutrición, que incluye la emaciación (una masa insuficiente con respecto de la talla), el retraso del crecimiento (una talla insuficiente para la edad) y la insuficiencia ponderal (una masa insuficiente para la edad);
- ◆ La malnutrición relacionada con los micronutrientes, que incluye las carencias de micronutrientes (la falta de vitaminas o minerales importantes) o el exceso de micronutrientes; y
- ◆ El sobrepeso, la obesidad y las enfermedades no transmisibles relacionadas con la alimentación (como las cardiopatías, la diabetes y algunos tipos de cáncer).

Se estima que la malnutrición se ha vuelto un problema de salud pública mundial que afecta a una de cada tres personas, en alguna de sus formas; donde 2 mil millones de personas sufren algún tipo de deficiencia en micronutrientes; 2 mil millones de adultos, obesidad o sobrepeso y 800 millones de personas, alguna deficiencia calórico energética (UNICEF DIPR, 2016).

La alta proporción de malnutrición en países desarrollados se asocia con la pobreza, el aislamiento social y la desigualdad donde existe una relación directa entre factores ambientales, sociales y culturales con la alimentación y seguridad alimentaria, donde la disparidad de la situación alimentaria de países en desarrollo es un indicador básico de la su realidad social (Jiménez-Benítez, Rodríguez-Martín, y Jiménez-Rodríguez, 2010). A pesar de ello, es una enfermedad multifactorial ocasionada por causas médicas, ambientales o alteración de requisitos energéticos y de micronutrientes que llega a afectar a toda la población. (Shetty, 2019). Sin embargo, no existe un estándar de oro ni criterio de diagnóstico único para detectar dicha patología, lo cual obstaculiza su investigación (Yang et al., 2018).

### 4.1.1 Desnutrición

La desnutrición es la condición en la que no se logra cubrir los requisitos nutrimentales del cuerpo debido a un subconsumo o absorción deteriorada, ya sea como falta de acceso a una alimentación adecuada o como consecuencia de alguna enfermedad. La desnutrición se

refiere a un déficit en la ingesta energética y deficiencia de micronutrientes, por lo que este tipo de malnutrición suele asociarse con un mayor índice de morbilidad y mortalidad; y puede dividirse en desnutrición aguda (si afecta a la masa del paciente), que en niños se conoce como emaciación o desnutrición crónica (si afecta a la masa y altura del paciente), conocida en niños como enanismo nutricional.

A su vez, se estima que la desnutrición en adultos hospitalizados varía entre 30 y 50 % de acuerdo con el perfil y características. Uno de los principales problemas en la detección y tratamiento de la desnutrición es la falta de un criterio de diagnóstico lo suficientemente sensible, específico y confiable. En este sentido, los nuevos enfoques al definir malnutrición se fundamentan en las contribuciones de la respuesta inflamatoria la cual es un factor etiológico en la patogénesis de la malnutrición asociada con alteraciones metabólicas y anorexia (Jensen et al., 2013).

La Sociedad Americana para la Nutrición Parenteral y Enteral (ASPEN) y la Sociedad Europea para la Nutrición Clínica y el Metabolismo (ESPEN), recomiendan considerar los síndromes de desnutrición que incluyen, de acuerdo con el consenso nutricional (Jensen et al., 2010):

- ◆ el hambre crónica sin inflamación (por ejemplo, anorexia nerviosa o depresión mayor con falta de interés en comer)
- ◆ desnutrición asociada con enfermedades crónicas, cuando la inflamación es crónica y de grado leve a moderado (por ejemplo; insuficiencia orgánica, cáncer de páncreas, artritis reumatoide u obesidad sarcopénica)
- ◆ enfermedad aguda o desnutrición asociada con lesiones, cuando la inflamación es aguda y de grado grave (por ejemplo, infección grave, quemaduras, traumatismo o lesión craneal cerrada).

En muchas enfermedades, es difícil observar una mejora en los resultados clínicos mediante la terapia nutricional debido a que su efecto se ve aminorado por diversos factores y se requiere de la recuperación del paciente para mejorar su estado nutricional. Por otra parte, un estado nutricional óptimo se ha relacionado con la capacidad de mantener o alcanzar una composición y función óptimas para la salud y supervivencia a largo plazo del individuo.

La detección y aseguramiento del estado nutricional del paciente permitirá alcanzar los objetivos del paciente, sin embargo el efecto del soporte nutricional dependerá también de factores como actividad física, ambiente, regulación de hormonas, terapia farmacológica y especialmente el grado de desnutrición relacionada con la enfermedad (León-Sanz y Valero, 2017).

#### 4.1.2. Malnutrición proteínico-energética

La malnutrición proteínico-energética (MPE) o desnutrición proteínico-calórica (DPC), se define como un estado patológico, donde se presenta un descenso o desgaste de los depósitos de proteína y reservas energéticas, lo que ocasiona pérdida de grasa y músculo (Gracia-Iguacel et al., 2014). Este déficit incluye el kwashiorkor, el marasmo y el enanismo nutricional (MPE primaria) y por lo general está asociado con problemas socioeconómicos, y emaciación asociada a enfermedades o lesiones en niños y adultos (MPE secundaria) y su causa principal se debe a una ingesta inadecuada de macronutrientes a causa de una fisiopatología (Morley, 2019), algunos autores mencionan un tercer tipo conocido como MPE mixta cuando ambos factores se combinan (Toussaint y García-Aranda, 2010).

La malnutrición proteínico-energética primaria es ocasionada por la falta de acceso a una ingesta adecuada de nutrientes, afectando principalmente a niños y adultos mayores, las alteraciones estructurales y funcionales asociadas con este tipo de patología suelen ser reversibles con terapia nutricional adecuada. Sin embargo, cuando MPE ocurre en periodos prolongados, puede generar cambios irreversibles en la función y crecimiento de órganos.

Por otra parte, la malnutrición proteínico-energética secundaria por enfermedades que alteran el apetito, digestión, absorción o metabolismo, debido a enfermedades gastrointestinales, desgaste nutricional o caquexia asociada a enfermedades críticas. Los defectos gastrointestinales incluyen maldigestión, malabsorción y obstrucción linfática. Mientras que la emaciación de enfermedades como el cáncer, SIDA y enfermedades reumatológicas se caracterizan por una pérdida involuntaria de masa corporal y muscular.

La emaciación se debe principalmente a una ingesta inadecuada de nutrientes, relacionada con anorexia y disfunción del tracto gastrointestinal y anormalidades metabólicas causadas por la alteración de hormonas, citosinas y el sistema inflamatorio. La restauración de la masa muscular es improbable a menos que se llegue a la recuperación de la enfermedad. La ganancia de masa que ocurre después del soporte nutricional comienza con incrementos en la grasa corporal total y agua corporal total, sin incrementos significativos en la masa muscular.

Los requisitos de proteína y energía son mayores en pacientes críticamente enfermos, y aunque un soporte nutricional agresivo puede aminorar no previene la pérdida neta de tejidos. La respuesta adaptativa a la inanición implica una serie de alteraciones metabólicas que mejoran la probabilidad de supervivencia al incrementar el uso de la grasa corporal, ahorrando el uso de glucosa y minimizando las pérdidas de nitrógeno y disminuyendo el gasto energético. Dichos cambios se muestran en el Cuadro 4.1. (Klein, 2012) y afectan al

corazón, tracto gastrointestinal, pulmones, médula ósea, páncreas riñones, sistema inmune y endocrino, piel y cabello (Waterlow, 1996).

*Cuadro 4.1 Respuesta adaptativa a la inanición respecto al tiempo.*

| Tiempo   | Respuesta   |
|----------|---|
| 24 horas | <p>Reducción a 15 % de glucógeno del hígado</p> <p>Disminución de producción de glucosa hepática y oxidación de glucosa en el cuerpo</p> <p>Aumento de velocidad de lipólisis y producción de cuerpos cetónicos</p> <p>Incremento de velocidad de <math>\beta</math>-oxidación</p>  |
| 72 horas | <p>Reducción a la mitad de la velocidad de glucosa</p> <p>Incremento de la velocidad de lipólisis</p> <p>Aumento del transporte de ácidos grasos al hígado</p> <p>Mayor relación glucagón/insulina</p>  |
| 7 días   | <p>La concentración de cuerpos cetónicos en sangre satisface 70 % de la demanda energética del cerebro.</p> <p>Los requisitos de energía se reducen debido a la fatiga inducida</p> <p>Reducción de 15 % de la tasa metabólica basal</p> <p>Inactivación de hormonas tiroideas y cetonas en plasma inhiben la degradación de proteína del músculo.</p>  |
| >7 días  | <p>El catabolismo de la degradación de proteína en músculo incrementa a niveles potencialmente letales</p> <p>El riñón se vuelve el sitio clave para producir glucosa</p> <p>La glutamina es transformada en glucosa y cubre aproximadamente la mitad de la producción total.</p>   |
| >14 días | <p>El tejido adiposo provee más de 90 % de energía diaria requerida.</p> <p>La producción de glucosa total se reduce a 75 g/día dividiéndose en 40 g/día para tejidos y 35 g/día para el cerebro.</p> <p>La degradación de proteína muscular decrece a 30 g/día lo que produce un deceso en la producción y excreción de urea.</p> <p>El volumen de orina disminuye a 200 mL/día y se minimizan los requisitos de fluidos.</p> <p>Reducción de 25 % de la tasa metabólica basal</p> <p>Pérdida de masa debido a menor grasa corporal, tamaño de órganos y proteína muscular. (El tamaño y contenido de proteína del cerebro se mantiene relativamente estable).</p> |

#### 4.1.3. Síndrome de anorexia-caquexia

Este síndrome metabólico complejo se asocia a una enfermedad subyacente como cáncer, VIH, enfermedad renal múltiple y falla cardíaca, y se define por una pérdida acelerada e involuntaria de masa, en particular de masa muscular, que se caracteriza por una disminución de ingesta calórica con depleción progresiva de tejido graso y muscular lo que lleva a una pérdida de masa que en general sobrepasa el 5 % en seis meses (Bosch et al., 2017).

La caquexia se diferencia de otros tipos de adelgazamiento porque no se revierte con la ingesta calórica. Se asocia con el 50 % de la población con cáncer y la prevalencia se incrementa a más de 80 % en etapas avanzadas o terminales, siendo en más de 20 % de los pacientes la principal causa de muerte.

Esta enfermedad de desgaste normalmente se asocia con la inflamación, resistencia a la insulina y aumento en la degradación de proteínas musculares. El desgaste es diferente del ocurrido por inanición, lipoatrofia (pérdida de grasa subcutánea secundaria a algunos antirretrovirales) así como del producido por depresión primaria, malabsorción, hipertiroidismo, y se asocia con aumento de la morbilidad (Sosa-Sánchez et al., 2008).

La caquexia se diagnostica cuando existe una pérdida de masa de, al menos, 5 % de la masa actual durante los 12 meses previos o menos o bien cuando el índice de masa corporal (IMC) es menor a 20 kg/m<sup>2</sup>; además de la presencia de anorexia, disminución de fuerza muscular, fatiga, bajo índice de masa libre de grasa y alteraciones bioquímicas como anemia. La caquexia se distingue de la sarcopenia porque esta última se caracteriza por falta de hormonas anabólicas y actividad física; y de la desnutrición, ya que contrariamente a la caquexia se resolvería con alimentación adecuada o apoyo nutricional y se clasifica como leve, moderada o grave asociada a una pérdida de masa del 5 %, 10 % o 15 % en los doce meses previos, respectivamente (Milke-García y Rivera-Flores, 2010).

#### 4.1.4. Malnutrición proteínico-energética en niños

La MPE primaria en niños pequeños es considerada el problema nutricional más importante en Asia Occidental, Latinoamérica y África. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que alrededor de un tercio de la población infantil se ve afectada (de Onís et al., 1993). Se estima que 150.8 millones de niños sufren emaciación, 50.5 millones retraso del crecimiento y 16.4 millones insuficiencia ponderal. En Latinoamérica, la emaciación se ha reducido 56 % desde el año 2000, afectando a 5.1 millones de niños, mientras que el retraso del crecimiento y la insuficiencia ponderal afectan a 700 mil y 200 mil niños respectivamente (UNICEF/WHO/WBG, 2018)

En México, la desnutrición hipocalórica, resulta ser la de mayor magnitud y trascendencia, a pesar de contar con problemas nutricionales derivados de un exceso en la ingesta de alimentos, lo que se polariza en un grupo con dieta monótona, insuficiencia en calidad y

cantidad asociada a la población rural y el extremo del espectro nutricional con una población que consume una dieta exagerada en cantidad y no necesariamente adecuada. Por ejemplo, el sureste del país con un menor consumo de proteína y calorías, asociados a un mayor porcentaje de malnutrición (Ysunza-Ogazon, Diez-Urdanivia-Coria, y Lopez-Nunez, 1993)

Actualmente, la prevalencia de desnutrición en niños indígenas comprende el 33 % de la población indígena y 11.7 % de la población no indígena. A pesar de que las brechas se han reducido aproximadamente en 10 %, aún persisten prevalencias elevadas en la población rural y gran inequidad en la carga de desnutrición entre grupos sociales (Ángel Rivera-Dommarco, Cuevas-Nasu, y de Cosío, 2013). La primera y más importante manifestación de la MPE es una falla en el crecimiento, como consecuencia de poca disponibilidad o consumo inadecuado de alimentos, salud deteriorada, falta de acceso a servicios médicos y prácticas alimentarias no inocuas. Este tipo de malnutrición describe una gama amplia de condiciones clínicas que van desde moderadas a graves. Desde retraso en el crecimiento hasta el kwashiorkor (caracterizado por la presencia de edema) y el marasmo nutricional (que se distingue por una aguda emaciación); los cuáles se asocian a altas tasas de mortalidad (Latham, 2002).

La etiología, por lo tanto, puede ser compleja; ciertos factores que contribuyen a la MPE especialmente en el niño pequeño se relacionan con el huésped, el agente (la dieta) y el medio. Las causas subyacentes también se pueden clasificar dentro de las relacionadas con la seguridad alimentaria del niño, salud (incluso prevención de infecciones y tratamiento adecuado de las enfermedades) y cuidado, que incluyen las prácticas maternas y familiares, como las que tienen que ver con la frecuencia de la alimentación, lactancia y destete (Soriano del Castillo, 2010).

Además, las complicaciones asociadas a la MPE aumentan la mortalidad de esta, siendo principalmente (CENETEC, 2008):

- ◆ infección local o sistémica
- ◆ hipoglucemia
- ◆ deshidratación
- ◆ desequilibrio electrolítico
- ◆ hipotermia

La clasificación de MPE se basa en la examinación y medición antropométrica de parámetros como masa según edad, altura según edad, IMC, y circunferencia de brazo medio superior. Para una clasificación adecuada, se necesita estandarizar la definición de un valor normal, lo cual implica cualquier valor entre los percentiles 2.5-97.5. Los términos de referencia necesitan ser estandarizados de acuerdo con la altura y la masa corporal. El Cuadro 4.2,



muestra diferentes clasificaciones, cabe mencionar que en Latinoamérica, se ha utilizado ampliamente la clasificación de Gómez (Kreissl, 2009).

*Cuadro 4.2 Tipos de clasificación de MPE en niños (Kreissl, 2009).*

| Clasificación                                    | Tipo                                | %Referencia |
|--|-------------------------------------|-------------|
| <b>Gómez</b><br>(masa asociada a la edad)        | Normal                              | >90         |
|  | Grado I<br>(malnutrición leve)      | 75-89.9     |
|  | Grado II<br>(malnutrición moderada) | 60-74.9     |
|  | Grado III<br>(malnutrición severa)  | <60         |
| <b>Waterlow</b><br>(altura asociado con la edad) | Emaciación leve                     | 90-94       |
|  | Emaciación moderada                 | 85-89       |
|  | Emaciación severa                   | <85         |
| <b>Waterlow</b><br>(masa asociada con la edad)   | Retraso del crecimiento leve        | 80-89       |
|  | Retraso del crecimiento moderado    | 70-79       |
|  | Retraso del crecimiento severo      | <70         |
| <b>Wellcome</b><br>(presencia de edema)          | Kwashiorkor                         | 60-80       |
|  | Kwashiorkor marásmico               | <60         |
| <b>Wellcome</b><br>(ausencia de edema)           | Desnutrición                        | 60-80       |
|  | Marasmo nutricional                 | <60         |

La condición de la MPE a menudo se compara con un iceberg (Figura 1), donde un 20 % es visible por encima del agua y casi 80 % ciento se encuentra sumergido. El kwashiorkor, marasmo nutricional y kwashiorkor marásmico son la parte superior expuesta del iceberg, relativamente fáciles de identificar por sus manifestaciones clínicas. Por otra parte, la malnutrición moderada o leve a menudo no tiene manifestaciones clínicas claras de desnutrición. La MPE leve y moderada se diagnostica principalmente con base en la antropometría, en especial mediante mediciones de masa y altura y algunas veces con otras mediciones tales como la circunferencia del brazo o el espesor de los pliegues cutáneos.

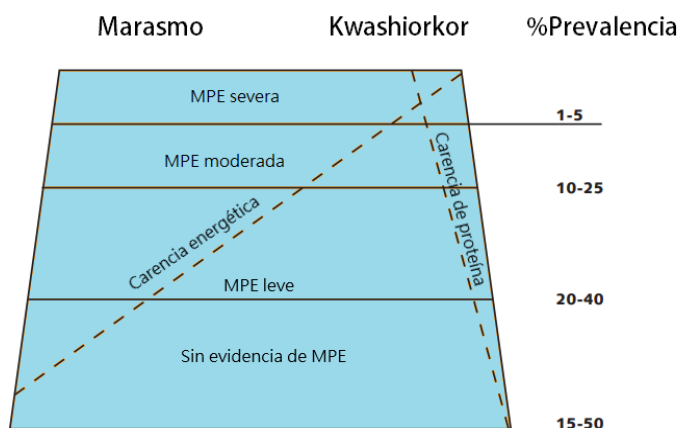


Figura 1. Iceberg de la malnutrición proteínico-energética. Adaptado. (Kreissl, 2009)

#### 4.1.5. Kwashiorkor

El kwashiorkor, también denominado malnutrición proteínico-energética húmeda o edematosa, se considera un caso severo de desnutrición caracterizado por un edema, irritabilidad, anorexia, dermatosis e infiltración de grasa en el hígado. Anteriormente, se consideraba que la causa de kwashiorkor se debía a un consumo insuficiente de proteína. Sin embargo, la deficiencia en micronutrientes y antioxidantes (hierro, ácido fólico, yodo selenio y vitamina C influye de manera significativa. En poblaciones en riesgo el destete y sustitución de leche materna por dietas altas en almidón y carbohidratos y deficientes en proteínas debido al uso monótono de cereales. El edema se suele desarrollar en etapa temprana y puede enmascarar la falla para ganar masa y suele presentarse en órganos internos antes de reconocerse en cara o extremidades (Chhabra y Chhabra, 2012).

Es común que esta patología se asocie con enfermedades infecciosas como diarrea, infecciones respiratorias, sarampión, parásitos intestinales entre otros que son causas habituales subyacentes de MPE y pueden hacer que los niños desarrollen kwashiorkor. Las infecciones, especialmente las que se acompañan de fiebre, ocasionan una mayor pérdida de nitrógeno en el organismo, que sólo se puede reemplazar con una dieta con proteínas (Jackson y Grimble, 1990).

#### 4.1.6. Marasmo

El marasmo es un tipo de malnutrición proteínico-energética no edematosa o seca acompañada de emaciación, cuya causa principal es una dieta deficiente en proteína y calorías y es la forma predominante de MPE severa, en esta patología, la masa de un niño puede reducirse hasta menos de 80 % de su masa recomendada según su altura (normopeso). Las complicaciones asociadas con esta enfermedad incluyen infecciones, deshidratación y trastornos asociados con una alta tasa de mortalidad. Las manifestaciones clínicas del marasmo incluyen crecimiento deficiente, emaciación, apetito, diarrea y úlceras y poca presencia de tejido adiposo (Walton y Allen, 2011). La causa principal de marasmo se asocia

con la inanición relacionada con proteínas, por ello se asocia como una forma de hambre cuyas causas además de interrupción temprana de lactancia son enfermedades infecciosas y parasitarias o malabsorción o vómito (Arvidsson Kvissberg et al., 2015). Además, existe un tercer tipo de malnutrición proteínico-energética primaria clasificada como kwashiorkor marásmico o atrófico. De acuerdo con la clasificación de Wellcome, corresponde a todo niño con malnutrición severa con edema y masa por debajo de 60 % de lo esperado para su edad. Las manifestaciones clínicas incluyen características del marasmo como emaciación grave, falta de tejido adiposo y crecimiento deficiente, así como edema y dermatosis, cambios de cabello, irritabilidad y hepatomegalia (Latham, 2002).

#### 4.1.7. Malnutrición proteínico-energética en adultos

La MEP en adultos es diferente a la observada en niños, debido a que éstos no presentan una etapa de crecimiento y por lo tanto no se presenta retraso (altura asociada a la edad), por lo que se puede determinar con el IMC, relación cintura cadera o la circunferencia del brazo medio superior, la clasificación en adultos se muestra en el Cuadro 4.3. Por otra parte, a pesar de que la MPE primaria (kwashiorkor y marasmo) puede suceder en adultos, es más común que se presenta MPE secundaria asociada a enfermedades o heridas (Klein, 2012). Sin embargo, esta patología puede incrementar el riesgo de morbilidad y mortalidad, asociados a cirugía, infecciones u otros desórdenes.

*Cuadro 4.3 Clasificación de MPE en adultos asociada al IMC.*

| Clasificación      | Tipo                  | IMC       |
|--------------------|-----------------------|-----------|
|                    | Normal                | 18.5-24.9 |
| Índice de Quetelet | Malnutrición leve     | 17-18.4   |
|                    | Malnutrición moderada | 15-16.9   |
|                    | Malnutrición severa   | <15       |

Esta patología se presenta con un mayor porcentaje en adultos mayores, donde la prevalencia puede variar entre 7-35 %, observándose un número superior en hospitales (van der Pols-Vijlbrief et al., 2014). Los pacientes con MPE sufren un agotamiento patológico de los tejidos magros del cuerpo causado por la inanición, o una combinación de inanición y estrés catabólico que se traduce en una pérdida involuntaria de masa (Hoffer, 2001). La rehabilitación nutricional en adultos incluye una evaluación médica, nutrimental y clínica para estudiar el soporte nutrimental adecuado que puede aplicarse a través de suplementos alimenticios, nutrición parenteral o enteral. Sin embargo, el tratamiento puede extenderse y depender de la capacidad del organismo en la recuperación y la sobrealimentación con el fin de dar un soporte nutrimental adecuado (Shetty, 2019).

## 4.2 Suplementos alimenticios

Los suplementos alimenticios son productos de consumo enfocados en proveer nutrimentos que no se encuentran en la dieta o cuya cantidad sea insuficiente. Además de incluir vitaminas y minerales, pueden contener aminoácidos, enzimas, fibra y ácidos grasos. La presentación puede variar incluyendo tabletas, cápsulas, polvos, bebidas y barras energéticas (NHS, 2011). Además, están elaborados a base de hierbas, extractos vegetales, alimentos tradicionales deshidratados o concentrados de frutas, pudiendo estar adicionados de vitaminas o minerales (siempre y cuando no rebasen los límites máximos establecidos), cuya finalidad de uso es exclusivamente incrementar, complementar o suplir alguno de los componentes que se adquieren a través de la dieta. El marco jurídico de la legislación mexicana contempla la figura de suplemento alimenticio independiente a un fármaco o producto alimenticio (SSA, 2007).

En la actualidad, gran parte de la población tiene una dieta no equilibrada, rica en grasa y calorías y baja en proteína, vitaminas y minerales, por ello, se busca que el suplemento alimenticio sea capaz de proveer el soporte nutricional adecuado. En el Cuadro 4.4 se muestra la clasificación de suplementos alimenticios (Kourkouta et al., 2016).

*Cuadro 4.4 Clasificación de suplementos según la Hellenic Medicine Organization (EOF).*

| <b>Tipo</b>                          | <b>Descripción</b>  |
|--------------------------------------|---|
| Suplementos de vitaminas y minerales | Incluyendo mezcla multivitamínica y/o multimineral  |
| Suplementos proteínicos              | En forma de bebida o tableta, pudiendo combinarse con carbohidratos, lípidos y vitaminas y minerales. |
| Suplementos de aminoácidos           | En cualquier forma y composición  |
| Suplementos de carbohidratos         | Incluyendo o no electrolitos y vitaminas  |
| Suplementos de ácidos grasos         | Antioxidantes mono y poliinsaturados  |
| Incrementadores de masa muscular     | En cualquier etapa de uso   |
| “Activadores de hormonas”            | Suplementos para hormonas de crecimiento  |
| Anabólicos permitidos                | Efecto anabólico natural y permitido por la legislación   |
| Sustitutos de comida                 | En forma de polvo, barras, batidos, entre otros   |
| A base de alimentos                  | Por ejemplo: levadura, ajo, microalgas  |
| A base de hierbas                    | Incluyendo raíces y flores  |

En general la legislación internacional obliga a indicar la declaración del producto como suplemento alimenticio, la recomendación de la dosis diaria del mismo, declaración del uso responsable del mismo y leyendas de advertencia. Por ejemplo, en la Figura 2 se detalla la información mínima necesaria que se debe indicar en una etiqueta de suplemento alimenticio de acuerdo con la legislación mexicana, dicha información debe evitar confusión o engaño de las propiedades del mismo (COFEPRIS, 2016).

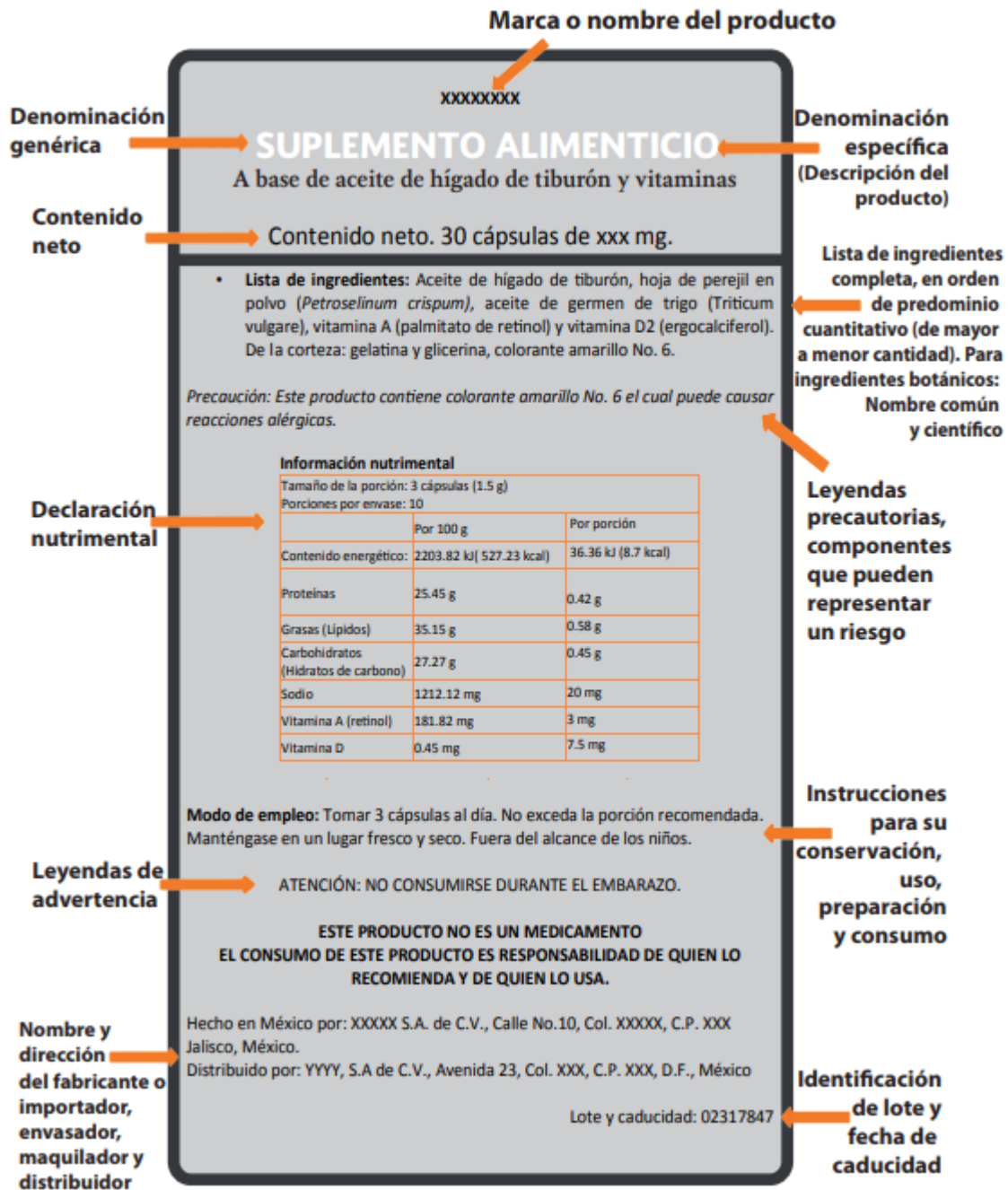


Figura 2. Ejemplo de etiqueta de suplemento alimenticio. (COFEPRIS, 2016).

#### 4.2.1 Proteína de origen no animal

A pesar de la alta calidad y valor biológico de la proteína de origen animal, existen fuentes de proteína basadas en legumbres, granos y cereales que en la combinación adecuada pueden asegurar el consumo de proteína de alta calidad y aportar micronutrientes en la cantidad adecuada. La ventaja principal de la sustitución de productos de origen animal consiste en reducir el impacto ambiental, al utilizar fuentes de proteína más sustentables como aquellas basadas en trigo, arroz, chícharo, lenteja, garbanzo y frijol (Tijhuis et al., 2011). Sin embargo, la principal desventaja de la proteína de origen vegetal, es la digestibilidad observada en proteína de plantas (80-90 %) el cual puede disminuir al 50 % de acuerdo con el contenido de pared celular, factores anti nutricionales o tratamientos térmicos severos (Tomé, 2013).

Por otra parte, el uso extendido de la proteína de origen animal y el estudio de la efectividad de suplementos a base de productos lácteos ha tenido evidencia limitada y alto costo asociado (Suri, Moorthy, y Rosenberg, 2016). Los estudios que muestran crecimiento y mejora del estado nutricional asociado con el consumo de leche descremada (Martorell, Klein, y Delgado, 1980), leche entera (Lutter et al., 1990) y cárnicos y productos lácteos en mujeres (Van Dusseldorp et al., 1996) se comparan con un caso sin intervención o control; en cambio, como se menciona (Noriega y Lindshield, 2014) la comparación de fuentes de origen animal con fuentes de origen no animal con dietas isocalóricas e isonitrogenosas muestra evidencia limitada sobre mejores resultados de crecimiento, para harina de pescado (Lartey et al., 1999), leche ultrapasteurizada (Krebs et al., 2012) y carne liofilizada (Neumann et al., 2007)

A su vez, las dietas basadas en alimentos de origen vegetal se reconocen como una alternativa más sana que aquellas con alto contenido de productos de origen animal, debido a la asociación del consumo de carne, grasa y carbohidratos con la arterioesclerosis (Tuso, Stoll, y Li, 2015). Además, la proteína de origen vegetal provee más de 65 % de la demanda de proteína en el mundo principalmente en cereales y legumbres, siendo la principal fuente de consumo de proteína en países en desarrollo, donde estas fuentes son accesibles y familiares (Millward, 1999). Globalmente, la tendencia de consumo de suplementos elaborados con fuentes de proteína vegetal corresponde al 40 % de la población, estimando un crecimiento del 7.6 % (Aarts y Polito, 2016).

Asimismo, el uso de proteína de hongos comestibles en países en desarrollo ha sido explorado debido a que algunos tipos de hongos son relativamente ricos en proteína presentando un contenido entre 19 y 35 % (Base seca) lo que es cercano al contenido de la carne (Dabbour y Takruri, 2002). Igualmente, son considerados una fuente alternativa de fibra y minerales (excepto sodio) y tienen la ventaja de presentar todos los aminoácidos esenciales (Bach et al., 2017). En México, existe una profunda tradición culinaria donde los hongos salvajes son consumidos y cosechados en áreas rurales para su venta (Boa, 2004).

#### 4.2.2 PDCCAS y Digestibilidad

A pesar de no existir un consenso en la cantidad de proteína recomendada al día, dicho valor puede variar entre 0.66 g proteína/kg p.c.c hasta 1.2 g proteína/kg p.c.c para adultos con malnutrición o riesgo de presentar malnutrición proteínico-energética secundaria, lo que representa un alto consumo de proteína (Energía de proteína superior al 20 %) y que valores entre 1.6 y 2 g proteína/kg p.c.c son considerados como ingesta segura (Holdoway, 2014).

Sin embargo, el valor nutrimental que aporta una proteína no sólo depende de la cantidad, sino de la calidad que tenga asociada con la digestibilidad de proteína y al contenido de aminoácidos esenciales (*score* de aminoácidos). (Schaafsma, 2000).

La digestibilidad de proteína mide la capacidad de hidrolizar el enlace peptídico de las proteínas ingeridas para proporcionar aminoácidos y péptidos pequeños que sean absorbidos en el cuerpo y provean beneficios nutrimentales. El método tradicional de proteína digerible es *in vivo* utilizando ratas para cuantificar dicho análisis. A pesar de proporcionar resultados adecuados este método se asocia con un costo elevado y a dilemas bioéticos. Por otra parte, el método *in vitro* utiliza una digestión enzimática (utilizando primeramente pepsina y posteriormente tripsina y quimiotripsina en un medio que simule las condiciones fisiológicas del estómago e intestinos) que tiene una alta correlación con el modelo de digestión de una rata (Plank, 2016).

En 1989, un comité experto de la OMS/FAO determinó que la mejor manera de expresar la calidad de proteína sería mediante un porcentaje de la relación del contenido de aminoácido esencial limitante respecto a una proteína de referencia, multiplicándose por el porcentaje de digestibilidad total, denominado *score* de proteína corregido por digestibilidad (PDCAAS por sus siglas en inglés), el cuál es considerado el método oficial de evaluación para evaluar proteína para consumo humano a nivel internacional. En la ecuación 1 se muestra la fórmula para el PDCAAS (FAO, OMS, y UNU, 2007).

$$[1] \frac{\frac{\text{mg de aminoácido limitante}}{\text{g de proteína de estudio}}}{\frac{\text{mg de aminoácido de referencia}}{\text{g de proteína de referencia}}} \times \% \text{Digestibilidad Fecal Verdadera} \times 100$$

La cantidad de aminoácidos recomendada correspondiente a una proteína de referencia anteriormente a la proteína de huevo; sin embargo, dicho valor fue sustituido por una proteína ideal capaz de cubrir las necesidades de aminoácidos esenciales al día (Seuss-Baum, Nau, y Guérin-Dubiard, 2011). Dichos valores fueron establecidos por la FAO/OMS/UNU y posteriormente corregidos, el doble de dichos requerimientos corresponde a una ingesta segura que no se asocia con riesgo de salud; sin embargo, en el 2000, el MIT estableció un patrón diferente basándose en las condiciones fisiológicas basales y compensados por el balance de nitrógeno a un espectro más amplio (Young y Borgonha, 2000). Un tercer patrón



de aminoácidos esenciales fue presentado reajustando la cuantificación de lisina y la suficiencia observada en dietas de origen vegetal (Millward, 1999). En general es complicado definir la cantidad específica debido a la falta de indicadores metabólicos que se adecuen a una cuantificación inequívoca del balance de nitrógeno. El Cuadro 5.1, muestra los valores de referencia del patrón de aminoácidos.

*Cuadro 4.5 Patrones de referencia de score de aminoácidos para adultos.*

| <b>Aminoácido/Patrón</b> | <b>FAO 2007</b> | <b>FAO 1985</b> | <b>MIT 2000</b> | <b>Millward 1985</b> |
|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|
|                          | mg aa/g prot    | mg aa/g prot    | mg aa/g prot    | mg aa/g prot         |
| Triptófano               | 6               | 5               | 10              | 6                    |
| Treonina                 | 23              | 11              | 25              | 26                   |
| Isoleucina               | 30              | 15              | 35              | 30                   |
| Leucina                  | 59              | 21              | 65              | 44                   |
| Lisina                   | 45              | 18              | 50              | 31                   |
| Metionina+Cisteína       | 22              | 20              | 25              | 27                   |
| Fenilalanina+Tirosina    | 30              | 16              | 65              | 33                   |
| Valina                   | 39              | 15              | 35              | 23                   |

#### 4.2.3 Complementación proteínica cereal/legumbres

Los patrones de consumo en los países en desarrollo muestran que las legumbres como frijol suelen mezclarse con cereales como arroz y maíz. La legumbres provee una ingesta alta en proteína y un contenido de aminoácidos que incrementa significativamente la calidad de la proteína del cereal (UNU, 1979). Debido a la limitación de cereales (con lisina como aminoácido limitante pero rica en metionina) y de legumbres (con metionina como aminoácido limitante y rica en lisina) puede compensar la deficiencia de la otra, dando lugar una proteína de alto valor biológico (Carbajal-Azcona, 2013).

El máximo de la calidad de proteína dependerá de la mezcla a utilizar. Como se muestra en la Figura 3, para una mezcla de arroz con frijol negro, se alcanza en la proporción 80/20. Para la mezcla de maíz opaco-2 y frijol en proporción 50/50 y en mezclas maíz/soya 40/60, lo que indica que el contenido de metionina, lisina y triptófano de cada componente, así como la digestibilidad de proteína de la legumbres y el cereal es crítico en el diseño de mezclas para garantizar la calidad de proteína máxima (FAO, 1992). A su vez, se debe considerar la variabilidad que existe en los valores de aminoácidos respecto a la cantidad deseada. Por otra parte, se muestran los valores teóricos de la RPN para los suplementos desarrollados en el ICAT, utilizando diseño de mezclas, de los cuales se observa que el valor se encuentra por



debajo de la eficiencia máxima asociada a la proporción cercana de una mezcla, por lo que es posible optimizar dichos valores a través de la variación del porcentaje de cada harina: *score* teórico alrededor de 50 % en el suplemento para malabsorción, mientras que el suplemento para cirróticos un *score* de 60 % y el suplemento para pacientes bariátricos del 64 % (Sanvicente, 2018; Méndez, 2018; Dunzz, 2018).

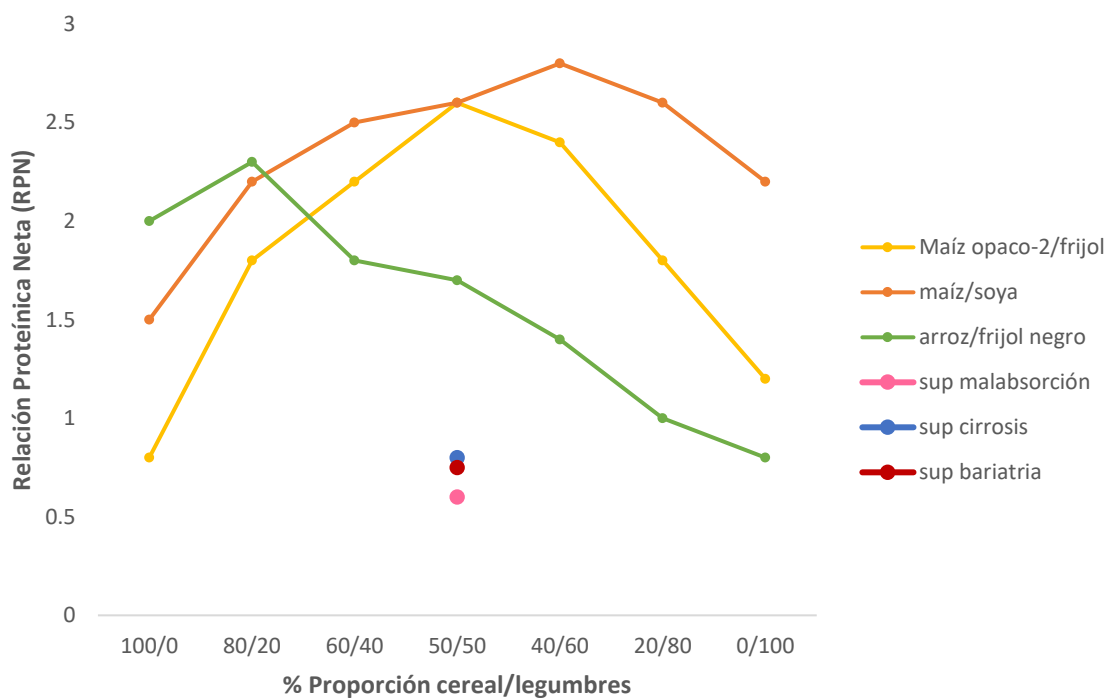


Figura 3. Calidad de proteína vs porcentaje de complementación proteínica de mezclas Adaptado (UNU, 1979; FAO, 1992; Méndez, 2018; Dunzz, 2018; Sanvicente, 2018).

Cabe mencionar que la adición de un aminoácido por sí mismo incrementa levemente la calidad de las proteínas, debido a que existe una deficiencia secundaria en triptófano y baja digestibilidad en proteínas.

#### 4.2.4 Suplementos alimenticios para MPE

El desarrollo de suplementos alimenticios ha sido pieza clave para combatir problemas de salud pública. En México, el programa Becas para el Bienestar, anteriormente denominado Prospera se enfoca en atender la desnutrición infantil y materna con la entrega de suplementos de forma bimestral como *Nutrisano* (Hersch-Martínez y Pisanty-Alatorre, 2016). Otros casos incluyen el uso de productos lácteos que suelen enfocarse a MPE en niños, cuya fuente principal de proteína corresponde a una fuente láctea como leche en polvo y se adicionan vitaminas, minerales, goma y sabores como plátano y chocolate (Rosado et al., 1999).

La colaboración del Laboratorio de Ingeniería de Proceso del ICAT con el Hospital General de México “Dr Manuel Gea González”, ha permitido la elaboración de diferentes tipos de suplementos alimenticios enfocados en combatir patologías específicas tales como malabsorción y cirrosis. Dichos suplementos se elaboran a base de diferentes harinas de origen vegetal en combinación con productos de origen animal mediante diseño de mezclas. Por ejemplo, la elaboración de un suplemento para malabsorción basado en los requisitos de dieta para pacientes post quirúrgicos con una evaluación hedónica en 6 (me gusta un poco) (Sanvicente, 2018), un suplemento para pacientes con cirrosis, el cuál fue sometido a una evaluación sensorial en la Clínica del Hígado, obteniendo una puntuación de 7 (me gusta bastante) en nivel de agrado (Méndez, 2018). Finalmente, se desarrolló un suplemento tipo “natilla” sustituyendo la base láctea por proteína de soya y adicionando legumbres, cereal y polvo de chapulín, con un nivel de agrado situado en 8 (me gusta mucho) (Dunzz, 2018).

A nivel internacional, el desarrollo de formulaciones elaboradas con mezclas de cereales y legumbres de origen local y precio accesible se ha extendido. En Tanzania, se desarrollaron suplementos proteínicos para niños a base de frijol, frijol chino y chícharo, elevando la cantidad de proteína en 8 % y con una evaluación sensorial positiva (Muhimbula, Issa-Zacharia, y Kindabo, 2011). En Tailandia, se diseñó un suplemento para adultos mayores a base de harina de arroz y soya para una población mayor a 60 años, la evaluación sensorial se mantuvo en un nivel me gusta bastante (Satusap et al., 2014). A su vez, en India, se desarrolló un suplemento alimenticio para enfermedades no transmisibles, utilizando materia prima de origen local como cebada, mijo africano, plátano, harina de soya y champiñones, desarrollando cuatro formulaciones de los que no se obtuvo diferencia significativa (Krishnaja y Ukkuru, 2016). Además, en Camerún se formularon mezclas de cereales, legumbres, raíces y cangrejo de río como alternativa para la MPE en niños (Achidi et al., 2016). Finalmente, en India se realizaron mezclas de maíz con harina de soya y azúcar para la malnutrición proteínico-energética, de acuerdo con el estudio (Shankar et al., 2018) las mezclas con 10 % de azúcar contienen la densidad de nutrientes adecuadas.

#### 4.2.5 Aspectos clave en el diseño de un suplemento alimenticio

Además de los requerimientos energéticos y nutrimentales implicados en el diseño de un suplemento alimenticio enfocado en malnutrición, es necesario estudiar otros aspectos del mismo, entre ellos las características sensoriales y la respuesta de los consumidores al producto, el comportamiento mecánico y el proceso implicado en su elaboración.

De tal manera que el análisis sensorial cobra gran relevancia para garantizar el posicionamiento del producto en el mercado. El estudio de las características sensoriales de un producto y la relación con la aceptación o rechazo se considera información clave para el

éxito del mismo (Stone, 2012). Un porcentaje de aceptación bajo conducirá a un uso limitado, lo que reduce el beneficio de las intervenciones nutrimentales en términos de crecimiento y erradicación de deficiencias nutrimentales. Por lo que la combinación de fuentes de proteína no animal provenientes de productos familiares y accesibles a la población no debe comprometer la aceptabilidad y eficacia de un suplemento enfocado en malnutrición (Juel-Brockdorf et al., 2016).

Por otra parte, el desarrollo de alimentos semisólidos generalmente requiere el uso de hidrocoloides para mejorar la estabilidad y textura del producto brindando características de flujo adecuadas como incremento de viscosidad y características dinámicas como firmeza y fuerza del gel. La caracterización reológica dinámica permite modular y relacionar la estructura e interacciones con las características sensoriales y fisicoquímicas de dicho producto (Sharma et al., 2017).

Asimismo, el estudio del proceso de alimentos permite la elaboración, preservación y distribución de productos con materias primas adecuadas. La mejora del proceso permite asegurar las propiedades nutrimentales, la calidad del producto y parámetros de control de temperatura que se asocian a pérdida de aroma, cambios de textura y apariencia del producto. A pesar de ello, condiciones de secado con bajas temperaturas pueden mejorar la calidad del producto, pero disminuyen la velocidad de secado y costo del mismo (Lemus-Mondaca et al., 2009).

De hecho, el desarrollo de suplementos alimenticios en el ICAT ha considerado métodos sensoriales descriptivos y afectivos (Neria Velasco, 2018), reología de corte y dinámica, porcentaje de sedimentación y sinéresis (Sanvicente, 2018; Méndez, 2018) y estudio del proceso de elaboración de materia prima (Velázquez, 2019).

#### 4.3 Programación lineal

La programación lineal (PL) es una técnica de optimización que maximiza o minimiza un objetivo establecido que se sujeta a restricciones. Para ello se modela matemáticamente la asignación de recursos limitados a distintas demandas que compiten entre sí, donde todos los términos utilizados son de primer orden (Render, Stair, y Hanna, 2006). Normalmente la solución de problemas de programación lineal se lleva a cabo mediante el desarrollo de tres fases:

- ◆ Planteamiento del modelo: Establecer las variables de decisión, restricciones y función objetivo mediante expresiones matemáticas para relacionar las variables y el problema a solucionar.

- ◆ Solución del problema: Aplicar una técnica de optimización adecuada para el tipo de modelo matemático y encontrar la solución óptima mediante un algoritmo.
- ◆ Análisis de los resultados: Examinar los resultados y la sensibilidad frente a cambios de coeficientes y otras suposiciones.

De tal manera que el objetivo de la programación lineal es encontrar soluciones a través de métodos matemáticos con el uso de sistemas lineales a problemas representados por la limitación de recursos (Puente y Gavilánez, 2018). Los elementos básicos que constituyen un modelo de programación lineal son: variables de decisión, función objetivo, y restricciones. En la programación lineal, los problemas se pueden caracterizar como ecuaciones lineales y analizar geométrica o algebraicamente (Álvarez-Escobedo y Brito-Bazán, 2004).

Las suposiciones que debe considerar un modelo de programación lineal son las siguientes (Griffin y Pakzad-Hurson, 2014):

- ◆ Suposición de proporcionalidad: Un problema puede ser expresado mediante PL sólo si la contribución de cada variable de decisión es proporcional a la función objetivo y el lado izquierdo de cada restricción.
- ◆ Suposición aditiva: Un problema puede ser expresado mediante PL sólo si la contribución de cada variable de decisión  $x_i$  es aditiva e independiente a la contribución de cualquier otra variable de decisión  $x_n$  (donde  $n \neq i$ ).
- ◆ Suposición de divisibilidad: Un problema puede ser expresado mediante PL solo si las cantidades representadas por cada variable de decisión son divisibles infinitamente. (Por lo tanto, la respuesta óptima puede contener valores fraccionarios).
- ◆ Suposición de certeza: Un problema puede ser expresado mediante PL solo si los coeficientes de la función objetivo y de cada restricción se conocen con certeza.

#### 4.3.1 Variables de decisión

El primer paso para resolver un problema de optimización consiste en definir las variables de decisión y sus unidades. Estas representan los elementos del sistema con el que se controla el modelo, por lo que deben ser capaces de describir completamente las decisiones que puedan ser tomadas y todas las variantes que existan (Castro, 2004).

Los recursos, al ser limitados, pueden ser distribuidos de diversas maneras como tantas combinaciones matemáticas sean posibles vinculadas a un mismo objetivo.

Si el modelo es continuo, las variables toman valores reales y se representan por letras con subíndices  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o literales asociadas a sus unidades y significado. El criterio de decisión (la función objetivo) debe contener las variables de decisión. En forma estándar las variables de decisión toman valores no negativos, es decir que se exige explícitamente que cumpla  $x \geq 0$  si no se expone explícitamente su signo se considera libre (Ruz, 2019)

Los parámetros son definidos por el usuario y los valores numéricos de las variables son determinadas por un algoritmo de optimización (Fourer, Gay, y Kernighan, 2003).

#### 4.3.2 Función objetivo

La función objetivo es la medida cuantitativa del sistema que se desea optimizar, por lo que es necesario especificar su dirección (maximizar o minimizar). La función objetivo consiste en el criterio con el que se evalúa la solución transformándose en una evaluación numérica; por lo que la solución óptima del modelo es la mejor solución medida por la función objetivo (Martinich, 1997).

Dicha función se puede expresar de la forma:

$$[2] \min f(x) \text{ ó } \max f(x) \text{ donde } f(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

Aunque la mayoría de los objetivos puedan ser cuantificados (expresados en forma matemática), existen algunos objetivos como el aspecto estético que requieren una aproximación matemática. Existen casos particulares donde el usuario no optimiza alguna función por lo que no se requiere definir una función objetivo, denominados problema de factibilidad o problema de optimización sin restricciones. En cambio, cuando se formula un problema con objetivos múltiples, se puede llegar a plantear como un problema con una sola función objetivo formada por una combinación de pesos de diferentes funciones o considerar como restricciones algunos de los objetivos previos (Kumar, 2016).

#### 4.3.3 Restricciones

Las restricciones aseguran que valores numéricos pueden asignarse a las variables de decisión para las limitaciones de recursos o imposiciones físicas de la realidad. Se expresan como ecuaciones e inecuaciones lineales de las variables de decisión donde cada restricción es tratada de forma simultánea (Martinich, 1997). Matemáticamente adoptan una de las formas:

$$[3] \quad g_i(x) \geq B_i; \quad g_i(x) \leq B_i; \quad g_i(x) = B_i, \text{ siendo } g \text{ una función lineal en } x \text{ donde:}$$

$$g_i(x) = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

$$g_j(x) = cx_1 + cx_2 + \dots + c_nx_n$$

$$\dots$$

$$g_n(x) = d_1x_1 + d_2x_2 + \dots + d_nx_n$$

El lado izquierdo de una restricción está compuesto por un coeficiente ( $b_n$ ) y por la variable de decisión ( $x_n$ ), mientras que el lado derecho corresponde a un valor denominado limitación (B) que puede adoptar las formas mayor, menor o igual que (Alvarado Boirivant, 2009).

#### 4.3.4 Modelo matemático de programación lineal

En resumen, un modelo matemático de programación lineal se puede expresar con su función objetivo, ecuaciones de restricción y variables de decisión, lo que se puede resumir de la siguiente forma:

$$[4] \quad \min a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

Sujeto a:

$$b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \leq B_1$$

$$cx_1 + cx_2 + \dots + c_nx_n \geq B_2$$

...

$$d_1x_1 + d_2x_2 + \dots + d_nx_n = B_n$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

#### 4.3.5 Algoritmos

Un algoritmo es una secuencia de operaciones detalladas y no ambiguas que, al ejecutarse paso a paso, conducen a la solución de un problema en un tiempo finito. De tal manera, que se puede definir como la aplicación de pasos lógicos, secuenciales y metódicamente aplicados para dar solución a un problema en cuestión (Balderrama Vásquez, 2004). El algoritmo es independiente al lenguaje de programación y al procesamiento del mismo, por lo que es la infraestructura de cualquier solución escrita y ejecutada.

Para aplicar un algoritmo, es necesario realizar un análisis previo donde se especifiquen los datos de entrada y salida como variables. Asimismo, los parámetros de evaluación de un algoritmo consisten en el tiempo de respuesta, que dependerá de la complejidad de las instrucciones y los recursos necesarios para implantarlo (Quetglás, Toledo-Lobo, y Cerverón-Lleo, 1995).

Una vez que el algoritmo está diseñado y representado se debe resolver. La fase de conversión en instrucciones de un lenguaje de programación es denominada codificación, la cual debe concordar con la sintaxis de dicho lenguaje. Al concluir la codificación, se debe comprobar el funcionamiento y la validez del algoritmo. Sin embargo, existen diferentes

métodos de representación para independizar el algoritmo y la codificación: pseudocódigo y organigrama (Joyanes-Aguilar, 2008).

El pseudocódigo es un lenguaje de especificación de algoritmos basado en un sistema notacional menos formal y no ejecutable. Se utiliza para representar las acciones e instrucciones. En cambio, el diagrama de flujo u organigrama es una técnica de representación a través de símbolos, la cual contiene los pasos y la secuencia a ejecutar. Por lo tanto, cada símbolo tendrá al menos una línea de flujo de entrada y salida, exceptuando el inicio y fin del algoritmo (Vazquez-Gómez, 2012).

#### 4.3.6 Programación lineal entera mixta

La clasificación de un problema de optimización dependerá del tipo de variables involucradas, pudiendo ser discretas (binarias y enteras), continuas (reales) o una combinación de ambas (mixta). (Figura 4).

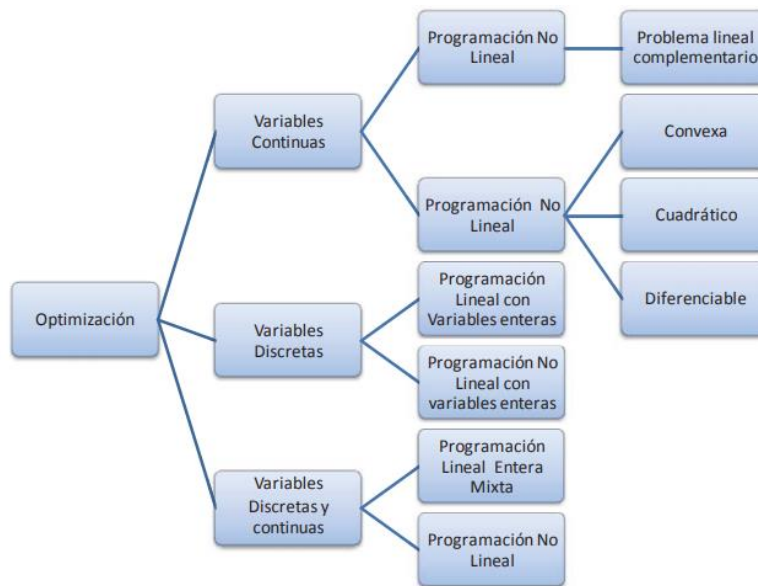


Figura 4. Clasificación de los tipos de optimización (Bermúdez Colina, 2011).

Por Programación Lineal Entera (PLE) se entiende aquel problema donde todas o algunas de las variables tienen que ser números enteros no negativos. La solución de un problema de programación lineal entera debe ser menor o igual a la solución óptima de un problema de programación lineal, debido a que es una versión menos restringida, además se cumple que la región factible de la PLE está incluida en la región factible de la PL. El problema de programación entera en la que todas las variables toman valores de “0” o “1”, lo que representa rechazo o selección y es denominado Programación Lineal Binaria. (PLB).

El caso donde solamente algunas de las variables tienen que ser números enteros no negativos y las restricciones y función objetivo son lineales recibe el nombre de problema de

Programación Lineal Entera Mixta (PLEM). Esta clasificación incluye modelos que además de tener variables enteras no negativas y variables continuas, tienen también variables binarias. Además, las técnicas de solución para problemas de PLEM resultan efectivas para programación lineal entera, programación lineal binaria y cualquiera de las combinaciones entre datos reales, binarios y enteros. Los métodos de solución suelen enfocarse en algoritmos de ramificación y acotamiento (*branch and bound*) que tratan el problema como Programación lineal y adoptan un nodo cuando una variable de decisión tome un valor no entero considerando el valor como entero y el valor como entero + 1, si la relajación lineal asigna valores enteros a las variables la optimización resulta factible y se genera un nuevo nodo, si la relajación lineal no es factible el nodo termina (Chinneck, 2016).

Las relaciones tales como densidad energética o *score* de aminoácidos son expresiones matemáticas del tipo no lineal, lo que dificulta la solución de un problema que requiere un enfoque iterativo con el riesgo de hallar soluciones locales y no hallar una solución óptima local. La forma de estas restricciones se puede transformar en una expresión lineal mixta. Sin embargo, esto no es posible en funciones logarítmicas y exponenciales (Darmon, Ferguson, y Briend, 2002).

#### 4.3.7 Programación lineal en el desarrollo de suplementos alimenticios

La primera aplicación de la programación lineal fue la aplicación de un problema de dieta con 9 restricciones y 77 variables, aplicando el método simplex desarrollado por George Dantzing en 1947 basándose en el desarrollo de una dieta diaria asegurando una ingesta mínima de varios componentes nutrimentales minimizando costos (Dantzig, 2012).

Por otra parte, la mayoría de los desarrollos de suplementos alimenticios se basan en métodos de “prueba y error” basándose en los datos nutrimentales, precio y tamaño de porción recomendable, lo que implica rediseños y múltiples repeticiones para desarrollar un producto adecuado, algunos enfoques utilizan diseño de mezcla, basándose en la complementación de aminoácidos por mezclas de cereal y legumbres. En cambio, el uso de la programación lineal resulta en una solución rápida, versátil y eficiente para brindar una solución óptima o determinar que las combinaciones no son factibles o para introducir nuevos tipos de alimentos (Briend, Ferguson, y Darmon, 2001), así también se ha utilizado para determinar combinaciones de canasta básica que minimicen el costo de productos saludables (Parlesak et al., 2016).

En particular, se han desarrollado dietas infantiles; por ejemplo, para preescolares en una población rural de Malawi tomando como variables los grupos de alimentos entre ellos cereales, frutas y legumbres (Darmon, Ferguson, y Briend, 2002); además de dietas para niños de 11 meses utilizando alimentos locales como zanahorias, amaranto, lenteja y cacahuate (Briend, Ferguson, y Darmon, 2001). Adicional a ello la PL ha permitido la

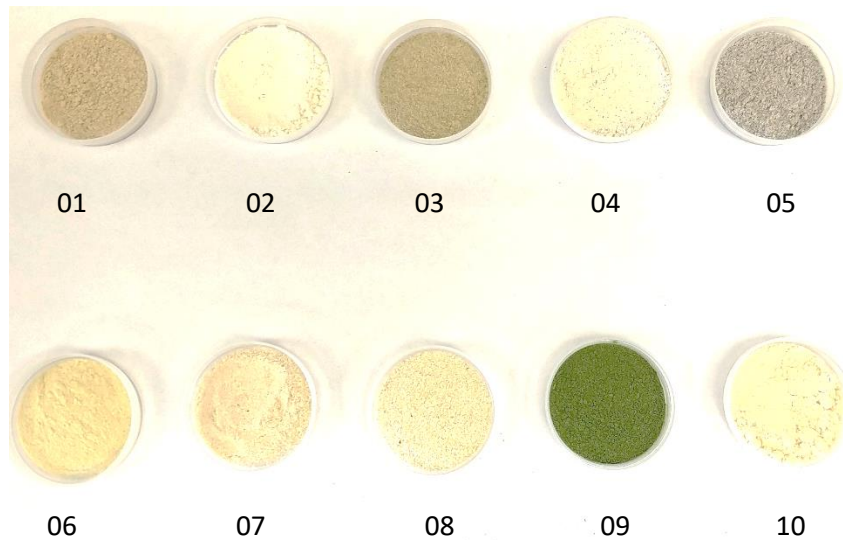


formulación de suplementos a base de alimento local para niños de 1 a 2 años en Mozambique utilizando harinas de soya, maíz, papa, yuca, nueces, arroz y frutas (De Carvalho et al., 2015). Finalmente, el desarrollo de un suplemento proteínico con mezclas de cereales y legumbres fue optimizado de acuerdo con los requisitos de energía, *score* de cuatro aminoácidos esenciales y contenido de proteína, azúcar y grasa para 60 g de producto, seleccionando como variables la cantidad de aceite, azúcar y lisina y considerando cálculos nutrimentales a través de la base de datos USDA NDB debido a que las mezclas cereal/legumbres por sí mismas no cumplieron con el *score* y/o cantidad de lípidos recomendados (Suri, Tano-Debrah, y Ghosh, 2014). Finalmente, se desarrolló un suplemento listo para usar basado en un contexto local en Nigeria, ajustando la composición nutrimental y ecuaciones de restricción para aminoácidos esenciales considerando el PDCAAS, sin embargo no considera una ecuación para cada aminoácido esencial (Brix, 2018)

## 5.1. Materiales

### 5.1.1 Harinas

Para la elaboración del suplemento alimenticio se utilizaron harinas de origen no animal obtenidas a través del secado y molienda de productos adquiridos en tiendas de autoservicio y mercados locales de la CDMX. En la codificación del algoritmo se alimentaron los datos de diez tipos de harinas diferentes, de las cuales cinco fueron seleccionadas. El apartado 6.3.2 detalla el análisis del proceso de obtención de cada harina utilizada para el suplemento una vez resolviendo el algoritmo. La Figura 5, muestra las harinas que alimentaron los datos de aminoácidos esenciales y proteína digerible y cruda.



*Figura 5. Harinas utilizadas para la optimización del suplemento.*

### 5.1.2 Saborizante en polvo

Se utilizó un saborizante artificial en polvo sabor chocolate desarrollado por Ungerer®. Para garantizar la variabilidad del producto, se utilizó el lote 015 08 2019 para todas las pruebas descritas.

### 5.1.3 Sacarosa

A su vez, se utilizó azúcar de caña marca Zulka® molido en un procesador de alimentos Termomix® como edulcorante principal para ajustar el contenido calórico del suplemento y modificar la densidad energética del producto.

#### 5.1.4 Maltitol

También se utilizó maltitol desarrollado por Best Ingredients® (Sweet Pearl P200 KUNNC). Este poliol es un disacárido de bajo poder calórico (2-3 kcal/g) obtenido de la hidrólisis enzimática de almidón y conversión de maltosa. Se caracteriza por tener calor de disolución negativo menor a otros polioles (-69 kJ/kg), lo que genera una sensación fresca y placentera, efecto anticariogénico y un poder edulcorante menor al de la sacarosa (80 % PE). Presenta una alta solubilidad (160 g/100 g agua a 20 °C) y estabilidad en pH ácido, además de no participar en reacciones de oscurecimiento no enzimático y suavizar la textura del alimento respecto al azúcar (Heume y Rapaille, 1996). Aunado a ello, se utiliza como enmascarador de resabios amargos y funcionar como agente humectante (Young & O'Sullivan, 2011). Este aditivo fue disuelto en agua previo a agregarse en la mezcla de polvos.

#### 5.1.5 Agua potable

Se utilizó agua potable obtenida de filtro en cumplimiento con la NOM-127-SSA1 1994. Agua para uso y consumo humano (SSA, 1994).

### 5.2 Metodología

#### 5.2.1 Estrategia experimental

El enfoque de trabajo consistió en el planteamiento de un modelo de programación lineal para el diseño óptimo de un suplemento alimenticio, la solución y evaluación del mismo a través de un proceso de análisis jerárquico contemplando los aspectos clave para la viabilidad del producto: contenido nutrimental, evaluación sensorial, caracterización de estabilidad del producto y estudio del proceso de elaboración. En la Figura 6, se detalla un diagrama a bloques resumiendo la estrategia experimental.

#### 5.2.2 Análisis estadístico

Los datos obtenidos para este estudio muestran el promedio y desviación estándar de triplicados. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para establecer diferencias significativas entre las muestras con significancia de un nivel  $\alpha=5\%$ . En los casos donde fue encontrada, se realizó una prueba de Tukey diferencia mínima significativa honesta (DMSH) utilizando el software *XLSTAT 2014.5.03*. A su vez, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para relacionar las variables asociadas a cada ingrediente y aditivo de la formulación, prueba de Friedman para preferencia y un ACP para la formulación mejor evaluada en el mapa de preferencias externo (EPM).

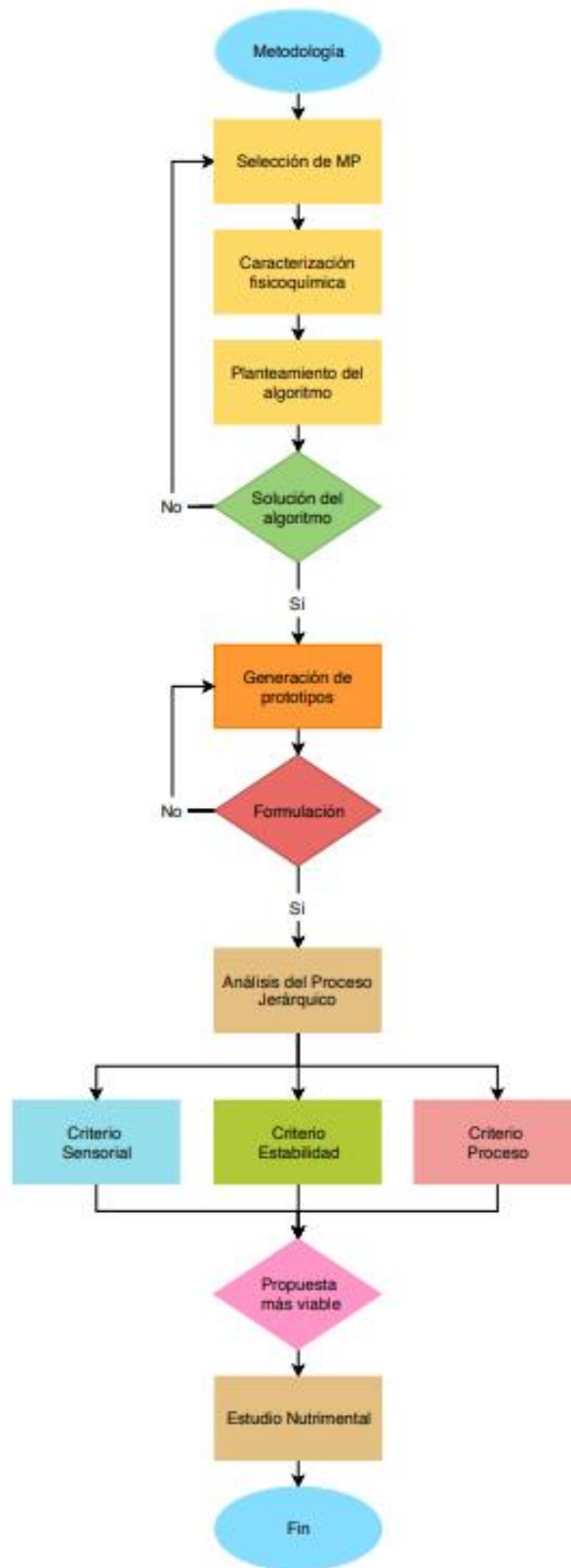


Figura 6. Diagrama de proceso de estrategia experimental.

## 5.3 Métodos

### 5.3.1 Caracterización fisicoquímica

#### 5.3.1.1 Análisis Químico Proximal (AQP)

El Análisis Químico Proximal (contenido de humedad, cenizas, extracto etéreo y proteína cruda, así como la diferencia de extracto libre de nitrógeno) fue determinado siguiendo los métodos oficiales de la AOAC. El porcentaje de humedad fue determinado con el método AOAC 934.01, el porcentaje de cenizas por el método AOAC 923.03, el extracto etéreo (contenido de lípidos) AOAC 963.15, el método AOAC 960.25 para proteína cruda y el método AOAC 962.09 para la fibra cruda; el extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) fue obtenido por la diferencia total (AOAC, 2011).

#### 5.3.1.2 Proteína digerible (%PD)

La proteína digerible se determinó por el método del pH estático, mediante una hidrólisis enzimática con pepsina (0.25 %) a pH ácido utilizando HCl 0.075 N durante 18 h conforme al método AOAC 971.09. El porcentaje de proteína digerible fue dividido por la cantidad de proteína cruda por 100 gramos de muestra (AOAC, 2011).

#### 5.3.1.3 Perfil de aminoácidos

El perfil de aminoácidos se determinó por el método ACC-Qtag descrito en la Farmacopea Europea, el cual cuantifica el contenido de cada aminoácido (excepto triptófano) para proteínas, péptidos y aminoácidos libres en una columna de separación HPLC; para ello, previamente se realiza una derivatización de compuestos de urea (European Pharmacopoeia, 2010).

En cambio, el triptófano fue cuantificado en una columna HPLC de fase inversa acoplado a un espectrofotómetro UV mediante una hidrólisis alcalina y posterior neutralización para formar el hidrosilato de triptófano y medir en la longitud de onda 280 nm (Yust et al., 2004).

#### 5.3.1.4 Actividad de agua (aw)

La actividad de agua se cuantificó utilizando un medidor de actividad de agua por punto de rocío a 25° C de acuerdo con el método AOAC 978.18. Cada tipo de harina se examinó por triplicado (AOAC, 2011).

#### 5.3.1.8 Sedimentación y sinéresis

El porcentaje de sedimentación y sinéresis se obtuvo mediante centrifugación a altas velocidades, para las muestras de harina en agua al 20 % se determinó el porcentaje sedimentación (2, 3, 4, 5, 8, 9 y 10) y porcentaje de sinéresis (1, 6 y 7); para el suplemento alimenticio se determinó el porcentaje de sinéresis para cada formulación, siguiendo el Cuadro 6.5. Las muestras se sometieron a centrifugación a 500 rpm a 25°C durante 20 min y posteriormente se pesó el sobrenadante o la fase líquida. La determinación se realizó por triplicado.

#### 5.3.1.5 Densidad

La determinación de densidad fue realizada mediante un método gravimétrico, utilizando un picnómetro para sólidos. Cada muestra se examinó por triplicado adaptando el método AOAC 932.14B que describe densidad en sólidos en jarabes (AOAC, 2011).

#### 5.3.1.6 Solubilidad

La solubilidad se determinó mediante el método desarrollado por Eastman (Eastman y Moore, 1984). El método consiste en un mezclado de 10 g de muestra y agua a un volumen determinado con agitación magnética moderada, centrifugación a 3000 rpm durante 15 min y evaporación de una alícuota del líquido sobrenadante y pesaje del residuo sólido expresado como el porcentaje de sólidos solubles en agua fría (dsb) (Zhu et al., 2019), siguiendo la fórmula:

$$[5] \quad dsb = \frac{\text{g sólidos secos}}{\text{g muestra base seca}} * \frac{\text{g aforo}}{\text{g alícuota}} * 100$$

#### 5.3.1.7 Color

La determinación de color se realizó utilizando la herramienta Color analyzer®, para ello se colocaron aproximadamente 5 g de muestra en una superficie plana y se obtuvieron los parámetros CIELAB (L\*a\*b): L (luminosidad, donde 0 indica negro y 100 blanco) a (posición entre rojo y verde, donde valores negativos indican verde y positivos rojo) y b (posición entre amarillo y azul, donde valores negativos indican azul y positivos amarillo). La determinación se realizó por triplicado.

#### 5.3.1.9 Parámetros reológicos

La curva de viscosidad de las muestras de harina en agua al 20 % se midió con un reómetro de esfuerzo controlado Anton-Paar Physica MRC 101, equipado con una configuración plato-plato (Anton Paar, diámetro 50 mm) a 25 ° C. Posteriormente, se aplicó un modelo de Ley de Potencia para obtener el valor de índice de consistencia, realizándose por triplicado.

$$[6] \sigma = k\dot{\gamma}^n$$

Donde:

$\sigma$ =esfuerzo cortante[Pa]

$k$ =índice de consistencia[Pa·s<sup>n</sup>]

$\dot{\gamma}$ =velocidad de deformación[s<sup>-1</sup>]

$n$ =índice de comportamiento de flujo (adimensional)

La caracterización dinámica se realizó de acuerdo con lo reportado anteriormente (Hoppert et al., 2012). Para ello se realizó un barrido de amplitud, donde el porcentaje de deformación se incrementó desde 0.1 a 100 % a frecuencia constante (1 Hz) y el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y el módulo de pérdida ( $G''$ ) fueron medidos como función del esfuerzo de corte, posteriormente se obtuvo el módulo complejo en la región viscoelástica lineal ( $G^*_{RVL}$ ) como:

$$[7] \quad G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

El límite elástico ( $\tau_0$ ) o punto de fluencia se obtuvo como aquel esfuerzo donde el módulo complejo  $G^*$  se reduce más del 90 % del valor promedio del  $G^*_{RVL}$  (Sharma et al., 2017).

Para el ángulo de fase ( $\delta$ ) se realizó un barrido de frecuencia, donde el porcentaje de deformación (entre 0.1 y 0.25 %) se mantuvo constante en la región viscoelástica lineal en una rampa de 0.1 a 500 Hz midiendo el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y el módulo de pérdida ( $G''$ ) como función de la frecuencia para posteriormente obtener el ángulo de fase como:

$$[8] \quad \delta = \tan^{-1} \left( \frac{G''}{G'} \right)$$

### 5.3.2 Solución del algoritmo

Se utilizó una solución de programación lineal mixta mediante el software Frontline Systems Analytic Solver, 2019, v18.1.1.0 estableciendo diez variables de decisión correspondientes al tipo de harina y ocho ecuaciones de restricción correspondientes a la cantidad de aminoácidos esenciales recomendada por la FAO en el 2007, con una función objetivo que contemple alcanzar un *score* biológico de 100 %. Para asegurar un *score* biológico superior a 80 % para cada aminoácido se agregó una restricción para lisina y valina y fenilalanina en su límite superior obteniendo así cuatro propuestas descritas en el capítulo 5.2.

### 5.3.3 Reformulación del suplemento

Los suplementos fueron preparados una vez obtenida la solución del algoritmo basándose en la altura promedio, masa ideal y cantidad de proteína necesaria para una persona con malnutrición al día, debido a la cantidad de tomas asociadas con estos requerimientos se descartó un fluido viscoelástico con predominancia viscosa, por lo que se hicieron pruebas para minimizar el porcentaje de agua e incrementar el porcentaje de proteína con el fin de obtener un producto cohesivo e integrado. Posteriormente se hicieron pruebas de sabor y de acuerdo con el perfil de las mezclas. Para la reformulación del suplemento se consideró un diseño de experimentos de tres factores, como se muestra en el Cuadro 5.1, los productos fueron evaluados internamente por el Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Química y el Laboratorio de Ingeniería de Proceso del ICAT. En el Anexo 1 se muestra el proceso de elaboración de los bites de proteínas.

*Cuadro 5.1 Resumen de las propuestas para la reformulación de la mezcla de harinas.*

| Factor 1: Proteínas | Factor 2: Saborizante | Factor 3: Edulcorante |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| A                   | Chocolate             | Azúcar                |
|                     | Tamarindo             | Azúcar + Maltitol     |
| B                   | Chocolate             | Azúcar                |
|                     | Tamarindo             | Azúcar + Maltitol     |
| C                   | Chocolate             | Azúcar                |
|                     | Tamarindo             | Azúcar + Maltitol     |
| D                   | Chocolate             | Azúcar                |
|                     | Tamarindo             | Azúcar + Maltitol     |

### 5.3.4 Selección de la mejor propuesta

#### 5.3.4.1 Proceso de análisis jerárquico (AHP)

Para la integración de los resultados obtenidos y selección de la propuesta de suplemento más viable, se realizó un proceso de análisis jerárquico (AHP). Los pesos de los aspectos seleccionados se muestran en el Cuadro 5.2. La asignación de los mismos se basó en que el aspecto sensorial es determinante para la consecuente adherencia e integración del producto



a la dieta del suplemento, por lo que su peso se consideró el doble de los demás indicadores. El aspecto nutricional, de suma importancia se consideró en segundo término debido a que los requisitos del algoritmo filtran los resultados, por lo que cada propuesta cumple en términos generales un PDCAAS superior a 75 %. Los criterios para cada requisito se dividieron equitativamente, con excepción del *score* de aminoácidos que corresponde al doble de los demás indicadores. El valor ideal se consideró para cada indicador donde en el caso de masticabilidad, complejidad operacional, tiempo de secado y escala hedónica se consideró el mejor valor objetivo. Para la función de valor, se consideró una función cuadrática dividida entre el valor ideal para aumentar la sensibilidad entre las muestras. En el caso de los indicadores de Complejidad operacional y tiempo de secado, se consideró la función inversa a la mostrada en la ecuación 8.

$$[8] \quad \text{Función de valor} = \frac{\text{valor indicador}^2}{\text{valor ideal}^2}$$

*Cuadro 5.2 Indicadores de toma de decisión y pesos asignados.*

| <b>Requisito</b>   | <b>Peso</b> | <b>Criterio</b>          | <b>Peso</b> | <b>Indicadores</b>      |
|--------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------|
| <b>Estabilidad</b> | 20          | Sinéresis                | 50          | % Fase Líquida          |
|                    |             | Textura                  | 50          | Masticabilidad (TPA)    |
| <b>Proceso</b>     | 20          | Viabilidad del proceso   | 33.3        | Complejidad operacional |
|                    |             | Eficiencia del proceso   | 33.3        | Tiempo de secado        |
|                    |             | Rendimiento neto         | 33.3        | % Harina/MP             |
| <b>Nutritivo</b>   | 20          | Cantidad de Proteína     | 25          | %Proteína               |
|                    |             | Calidad de Proteína      | 50          | PDCAAS                  |
|                    |             | Densidad energética      | 25          | %Energía de Proteína    |
| <b>Sensorial</b>   | 40          | Nivel de agrado          | 50          | Escala hedónica         |
|                    |             | Preferencia del producto | 50          | Media estimada          |

#### 5.3.4.2 Análisis de Perfil de Textura (TPA)

El análisis de perfil de textura se realizó en un texturómetro Brookfield CT3 colocando aproximadamente 50 g de muestra. Se realizó un test de dos ciclos de compresión utilizando una sonda cilíndrica de acero inoxidable de 36 mm. Cada muestra se leyó por triplicado y se utilizó el software TexturePro CT para calcular los datos de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad (Sharma et al., 2017).

#### 5.3.4.3 Caracterización del proceso

Para la caracterización y determinación de la viabilidad técnica para cada fórmula, se estudió la complejidad del proceso de elaboración de cada componente a través de sus operaciones unitarias utilizando el diagrama a bloques de cada harina e integrando la suma de las operaciones unitarias de acuerdo con la fórmula respectiva y el número y tipos de harinas utilizadas.

#### 5.3.4.8 Curvas de secado

Se realizó una caracterización de secado mediante un secador de charolas a  $50 \pm 5$  °C. El tratamiento de cada muestra se menciona en el apartado 6.3.3, el secado se realizó por ambas caras, colocando una única capa de producto. El secador de charolas presenta una velocidad de aire promedio 0.7 m/s, y una temperatura promedio de 50 ° C para una temperatura ambiente de 25 ° C. Para realizar las curvas de secado, se seleccionaron diez muestras de producto que fueron medidas cada 5 min a lo largo del proceso. Para determinar la cantidad de sólidos secos, se determinó la humedad de los productos en una termobalanza (Velázquez, 2019), posteriormente se modeló y obtuvo la difusividad térmica efectiva mediante la gráfica de relación entre humedades como se muestra en la siguiente ecuación:

$$[9] \quad \ln(\Psi) = \ln\left(\frac{x_i - x_{eq}}{x_0 - x_{eq}}\right) = \frac{\pi^2 D_e}{4\lambda^2} t$$

Donde:

$x_i$  es la humedad media libre (kg agua/kg ss),

$x_0$  es la humedad media inicial (kg agua/kg ss),

$x_{eq}$  es la humedad media de equilibrio (kg agua/kg ss),

$D_e$  es la difusividad efectiva ( $m^2/s$ ),

$t$  es el tiempo (s) y

$\lambda$  es la dimensión característica (m).

Además, se obtuvo el tiempo de secado mediante la segunda curva de secado a través de la relación entre la humedad libre y la velocidad de secado a lo largo de todo el proceso (Kouhila et al., 2020) mediante la ecuación:

$$[10] \quad R_s = -\frac{m_{ss}}{A_s} \frac{dx}{dt}$$

Donde:

$R_s$  corresponde a la velocidad de secado

$m_{ss}$  corresponde a la masa de sólidos secos

$A_s$  corresponde al área de secado

$dx$  corresponde a la diferencia de humedad libre

$dt$  corresponde a la diferencia de tiempo

De tal manera que el tiempo de secado se puede obtener de la siguiente forma:

$$[11] \quad t_s = \frac{x_0 - x_{eq}}{R_c} + \frac{x_{eq}}{R_c} \ln \left( \frac{x_{eq}}{x_f} \right)$$

Donde:

$t_s$  corresponde al tiempo de secado total siendo la suma del tiempo de secado en ambos periodos de velocidad

$R_c$  corresponde a la velocidad de secado en el periodo constante

$x_f$  corresponde a la humedad media final

De tal manera que para el proceso se considera el movimiento de la humedad libre del interior a la superficie y la remoción de la humedad en la superficie saturada (Richardson y Harker, 2002). En el Anexo 2 se muestra un ejemplo del cálculo de este valor.

#### 5.3.4.3 Perfil Flash (PF)

Con el fin de enriquecer el mapa de preferencia externo, se realizó un perfil Flash (PF). Este método descriptivo se llevó a cabo con un panel de 12 jueces entrenados que han participado en estudios previos durante un año y no fueron entrenados específicamente en suplementos alimenticios. Ambas sesiones del PF se llevaron a cabo de acuerdo con el protocolo del perfil flash modificado (Liu et al., 2016; Väkeväinen et al., 2020). Durante la primera sesión se llevó a cabo la generación de atributos y descriptores que caracterizaran las muestras sin términos hedónicos. En la segunda sesión los jueces evaluaron las muestras de acuerdo con la intensidad de sus diferencias en una escala lineal fijada en el lado izquierdo como “baja intensidad” y en el lado derecho “alta intensidad” permitiendo empates. El análisis de datos se llevó a cabo mediante el Análisis de Procrustes Generalizado (GPA) y análisis de componentes principales para mejorar la interpretación de estos (Tomic, Berget, y Næs, 2015).

#### 5.3.4.4 Pruebas afectivas

Se realizó un estudio con 100 consumidores no habituales de bites de proteína (42 hombres y 58 mujeres entre 17 y 45 años). El cuestionario fue elaborado en una plataforma web y consistió en una serie de preguntas previas sobre hábitos de consumo de proteína para posteriormente evaluar las cuatro propuestas de suplemento utilizando un ordenamiento basado en la preferencia del consumidor, así como una escala hedónica de 7 puntos y la aceptabilidad del producto. Los atributos a evaluar en el nivel de agrado fueron sabor, textura, resabio y el producto en general. El cuestionario de evaluación se presenta en el Anexo 3. Los datos fueron exportados a una hoja de cálculo automáticamente para analizarse posteriormente.



*Figura 7. Evaluación de las propuestas de suplementos con consumidores.*

#### 5.3.4.5 Mapa de Preferencia externo

El mapa de preferencia externo se realizó con los datos fisicoquímicos, textura, parámetros del proceso, nutrimentales y descriptivos para relacionar los atributos sensoriales y las muestras en el estudio, mediante un Análisis de Componentes Principales. El Mapa de Preferencia externo se construyó mediante un modelo vectorial, del cual se obtuvo el porcentaje de distribución para las muestras estudiadas en los atributos evaluados hedónicamente que presentaron diferencia mínima significativa.

La presentación de resultados y su discusión, se divide en cuatro módulos: 6.1 Selección y caracterización fisicoquímica de Materia Prima (MP), 6.2 Programación lineal, 6.3 Análisis del proceso jerárquico y 6.4 Evaluación nutrimental del suplemento para MPE.

### 6.1 Selección de la materia prima

Primero, se realizó una selección de muestras locales y origen no animal cuyo contenido de proteína reconociera al alimento como parte primordial del consumo de proteína en la dieta de un mexicano (Santiago-Torres et al., 2015). Debido a las características deseadas del suplemento alimenticio, se optó por utilizar harinas de legumbres (3, 4, 5, 9 y 10) cereales (2), pseudocereales (6 y 8), verduras (7) y hongos (1) de elaboración propia, ya que esta presentación ofrece versatilidad de aplicaciones, su proceso de obtención aumenta el contenido de nutrientes debido a la concentración de estos tras el secado y su actividad de agua prolonga la vida de anaquel, además mediante la estandarización de sus procesos de obtención se reduce la variación de las muestras. Por lo mismo, fue necesario realizar la caracterización fisicoquímica para obtener la cantidad de proteína dentro de cada materia prima y su relación energética, así como el perfil de aminoácidos y la relación de proteína digerible y cruda. El Cuadro 6.1 presenta los resultados del Análisis Químico Proximal y proteína digerible obtenidos para las 10 harinas evaluadas.

*Cuadro 6.1 Resultados de AQP y proteína digerible de las muestras utilizadas.*

| <b>g/100 g muestra</b>   | <b>01</b> | <b>02</b> | <b>03</b> | <b>04</b> | <b>05</b> | <b>06</b> | <b>07</b> | <b>08</b> | <b>09</b> | <b>10</b> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Humedad</b>           | 5.29      | 8.30      | 1.98      | 6.50      | 6.39      | 4.79      | 6.67      | 9.45      | 4.02      | 2.48      |
| <b>Fibra cruda</b>       | 0.38      | 6.08      | 0.29      | 6.42      | 4.23      | 5.75      | 6.40      | 6.13      | 6.65      | 5.36      |
| <b>Cenizas</b>           | 11.65     | 1.11      | 2.53      | 2.50      | 2.68      | 2.96      | 17.79     | 2.14      | 2.73      | 5.13      |
| <b>Extracto Etéreo</b>   | 11.53     | 1.60      | 4.07      | 3.19      | 3.28      | 4.90      | 5.22      | 2.25      | 0.50      | 0.29      |
| <b>Carbohidratos</b>     | 31.66     | 73.30     | 68.06     | 60.19     | 64.89     | 66.77     | 43.81     | 68.22     | 69.26     | 65.78     |
| <b>%PC</b>               | 39.49     | 9.81      | 23.07     | 21.21     | 18.53     | 14.83     | 20.12     | 11.80     | 16.85     | 20.65     |
| <b>%PD</b>               | 38.50     | 9.71      | 20.48     | 21.28     | 15.20     | 15.05     | 15.87     | 11.08     | 13.01     | 20.82     |
| <b>%PD/%PC</b>           | 0.974     | 0.989     | 0.887     | ≈1        | 0.820     | ≈1        | 0.788     | 0.938     | 0.772     | ≈1        |
| <b>Energía (kcal)</b>    | 384.4     | 346.4     | 390.8     | 354.6     | 349.9     | 371.4     | 285.7     | 337.5     | 333.6     | 349.0     |
| <b>Energía PD (kcal)</b> | 154.0     | 38.8      | 81.9      | 85.1      | 60.8      | 60.2      | 63.5      | 44.3      | 52.0      | 83.3      |

Como se puede observar, el intervalo de humedad de las harinas analizadas varía desde 1.98 a 9.45 %, lo cual cumple con la especificación de la NOM-247-SSA1-2008 (SSA, 2008) cuya humedad máxima permitida es 14 %, mientras que en el contenido de fibra cruda se observan porcentajes entre 0.29 a 6.65 %, apreciándose así valores altos para las harinas de cereales y pseudocereales así como en las harinas de legumbres 4, 9 y 10 y declaración como fuente de fibra para la harina 5 según la norma CAC/GL 23-1997 (Codex Alimentarius, 2009) Adicionalmente, el contenido de minerales cuyo intervalo se observa entre 1.11 a 17.79 %, fue mayor para las fuentes alternas de cereales y legumbres reconocidas por su alto contenido en potasio y fósforo en la harina 1 (Bernas, Jaworska, y Lisiewska, 2006) y calcio, hierro y potasio en la harina 7 (Hedges y Lister, 2007).

Asimismo, la cantidad de carbohidratos (31.66-73.30 %) fue superior al 60 % para todas las muestras a excepción de las harinas 1 y 7 (fuentes alternas). Esto se debe al contenido elevado de almidón y otros polisacáridos encontrados en el endospermo de las semillas, el cual constituye más de la mitad del grano (Mendoza y Calvo, 2010). A pesar de diseñar un suplemento alimenticio enfocado en MPE, la fuente de proteína es la harina, por lo que el contenido de carbohidratos será superior, a diferencia de los aislados, cuyo contenido es principalmente proteína; sin embargo, el consumo de carbohidratos en formas complejas es recomendado como sostén energético para asegurar el uso de las proteínas en la ganancia de masa (Golden, 2009), lo que finalmente impacta en la dieta y debe considerarse para que globalmente los carbohidratos aporten el mayor porcentaje de calorías (65-75 %) siendo deseable encontrarlos en formas complejas tales como polisacáridos (Latham, 2002).

Por otra parte, la cantidad de lípidos se mantuvo entre 0.29 y 11.53 %, encontrándose un valor superior en la harina 8; debido a la alta densidad calórica de este nutrimento; es deseable que su porcentaje cubra alrededor de 10 % de las calorías totales y que el omega-6 aporte el 4.5 % de las calorías y el omega-3 el 0.5 % de las calorías en personas para pacientes con MPE (Alasfoor, Rajab, y Al-Rassasi, 2009).

Además, el contenido de proteína cruda varió desde 9.81 a 39.49 % que junto con el contenido de carbohidratos presentó la mayor desviación entre datos (8.17 y 13.02 respectivamente), se espera que alrededor del 15-20 % de las kcal totales provengan de esta fuente y que su calidad de proteína sea superior al 70 %. En el caso de la proteína digerible el porcentaje varió desde 9.71 a 38.5 %, encontrando un aprovechamiento *in vitro* entre el 77.2 y 100 %, donde valores superiores al 100 % se asocian tanto al acoplamiento de la pepsina con polímeros con residuos hidrofóbicos voluminosos asociados a compuestos nitrogenados de las harinas 4, 6 y 10 (Ahn et al., 2013) y a la variación entre 0.001 y 0.01 % entre ambos métodos, asociada a la sobreestimación del método *in vitro*.

El contenido de energía para 100 g de harina se encuentra en el intervalo 342.4 a 415.8 kcal, se aprecia que los cereales presentaron porcentajes menores que las legumbres y los hongos y verduras. La cantidad de energía es relevante para cubrir la cantidad de proteína recomendable (0.7-1.2 kg p.c.c.), sin exceder la recomendación de calorías establecida por la dieta. En el caso del suplemento alimenticio se espera que 3 tomas puedan cubrir 25 % de las calorías totales de la dieta diaria y compensar el déficit calórico-proteínico mediante el aumento de consumo de un producto con alta densidad nutritiva (Troesch et al., 2015). Así también, la energía de proteína está referida a la proteína digerible debido a que es la proteína metabolizada y por lo tanto asimilada. En la Figura 8 se muestra la densidad de calorías para cada harina para los macronutrientes del material seleccionado.

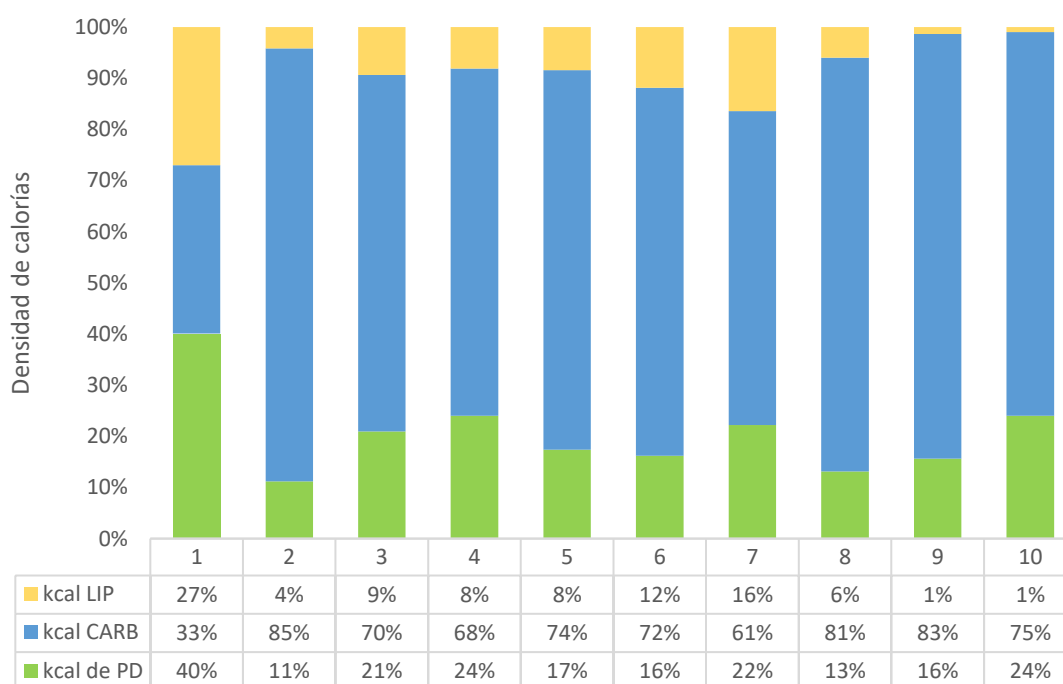


Figura 8. Densidad de calorías para las muestras de harinas.

En general las harinas de legumbres presentan una mejor densidad de calorías para adultos sanos, mientras que los cereales presentan contenidos más bajos de proteína y la harina 1 una densidad de proteína mayor a las legumbres e incluso similar a fuentes de proteína animal. Sin embargo la calidad de proteína no depende exclusivamente de la densidad de nutrientes y el contenido de proteína, sino de la calidad de la proteína, la cual está definida por la proporción de aminoácidos esenciales y el porcentaje de proteína digerible; por ello, es necesario garantizar el aprovechamiento de proteína, de tal manera que es necesario obtener el perfil de aminoácidos de las harinas y calcular la calidad de proteína. El Cuadro 6.2 muestra los resultados de cada aminoácido, así como el contenido de aminoácidos alifáticos, aromáticos, básicos, ácidos, esenciales (%AE) y el score de aminoácidos para 100 g de harina.

*Cuadro 6.2 Resultados del perfil de aminoácidos y PDCAAS de las muestras utilizadas.*

| <b>g aa/100 g prod*</b> | <b>01</b>         | <b>02</b>       | <b>03</b>            | <b>04</b>      | <b>05</b>         | <b>06</b>        | <b>07</b>         | <b>08</b>       | <b>09</b>       | <b>10</b>       |
|-------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|----------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Trp (W)</b>          | 0.36              | 0.08            | 0.10                 | 0.19           | 1.70              | 0.15             | 0.15              | 0.08            | 0.11            | 0.11            |
| <b>Thr (T)</b>          | 0.66              | 0.47            | 0.00                 | 1.15           | 0.81              | 0.10             | 0.68              | 0.49            | 0.74            | 0.84            |
| <b>Iso (I)</b>          | 0.50              | 0.11            | 0.00                 | 4.00           | 0.28              | 0.00             | 0.61              | 0.25            | 0.25            | 0.27            |
| <b>Leu (L)</b>          | 0.91              | 0.49            | 0.70                 | 3.24           | 0.93              | 0.38             | 1.44              | 0.68            | 0.71            | 0.84            |
| <b>Lys (K)</b>          | 0.60              | 0.06            | 1.08                 | 1.26           | 0.94              | 0.67             | 0.93              | 0.73            | 0.69            | 1.08            |
| <b>Met+Cys (M+C)</b>    | 0.28              | 0.30            | 0.00                 | 0.93           | 0.30              | 0.33             | 0.39              | 0.24            | 0.29            | 0.27            |
| <b>Phe+Tyr (F+Y)</b>    | 1.65              | 1.03            | 0.32                 | 1.05           | 0.86              | 0.47             | 1.79              | 0.79            | 1.14            | 1.22            |
| <b>Val (V)</b>          | 0.89              | 0.30            | 0.04                 | 0.68           | 0.55              | 0.00             | 1.14              | 0.42            | 0.41            | 0.50            |
| <b>Arg (R)</b>          | 0.93              | 5.10            | 0.57                 | 0.59           | 1.50              | 1.25             | 0.88              | 1.35            | 1.10            | 0.74            |
| <b>His (H)</b>          | 1.09              | 3.45            | 1.09                 | 0.56           | 0.07              | 0.18             | 1.60              | 0.86            | 0.47            | 0.49            |
| <b>Ala (A)</b>          | 1.00              | 2.29            | 0.90                 | 0.56           | 0.85              | 0.60             | 1.10              | 0.70            | 0.61            | 0.60            |
| <b>Asp (D)</b>          | 7.04              | 3.05            | 0.87                 | 1.24           | 1.33              | 1.05             | 0.33              | 0.23            | 2.04            | 2.62            |
| <b>Glu (E)</b>          | 5.34              | 6.45            | 11.25                | 2.36           | 1.27              | 7.65             | 1.14              | 0.90            | 8.76            | 8.76            |
| <b>Gly (G)</b>          | 0.89              | 3.94            | 0.31                 | 0.58           | 0.00              | 0.92             | 1.19              | 0.92            | 0.50            | 0.50            |
| <b>Pro (P)</b>          | 0.94              | 2.74            | 0.88                 | 0.75           | 0.51              | 0.57             | 0.83              | 0.50            | 0.65            | 0.61            |
| <b>Ser (S)</b>          | 1.02              | 2.91            | 0.10                 | 0.17           | 1.17              | 0.04             | 1.73              | 1.01            | 0.70            | 0.88            |
| <b>AA alifáticos</b>    | 4.19              | 7.13            | 1.95                 | 9.06           | 2.61              | 1.90             | 1.94              | 2.97            | 2.48            | 2.71            |
| <b>AA aromáticos</b>    | 2.01              | 1.11            | 0.42                 | 1.24           | 2.56              | 0.62             | 3.16              | 0.87            | 1.25            | 1.33            |
| <b>AA hidroxilados</b>  | 2.56              | 3.84            | 0.11                 | 0.62           | 2.21              | 0.51             | 3.41              | 1.89            | 2.48            | 2.24            |
| <b>AA básicos</b>       | 2.62              | 8.61            | 2.74                 | 2.41           | 2.51              | 2.10             | 1.47              | 2.94            | 2.26            | 2.31            |
| <b>AA ácidos</b>        | 12.38             | 9.50            | 12.12                | 3.60           | 2.60              | 8.70             | 1.94              | 1.13            | 10.80           | 11.38           |
| <b>%Score AA*</b>       | 54 <sup>M+C</sup> | 14 <sup>K</sup> | 0 <sup>T,I,M+C</sup> | 0 <sup>T</sup> | 63 <sup>M+C</sup> | 0 <sup>I,V</sup> | 80 <sup>M+C</sup> | 82 <sup>I</sup> | 43 <sup>I</sup> | 44 <sup>I</sup> |
| <b>PDCAAS*</b>          | 52.6              | 13.8            | 0.0                  | 0.0            | 51.7              | 0.0              | 63.1              | 76.9            | 33.2            | 44.0            |
| <b>%AE*</b>             | 5.86              | 2.84            | 2.24                 | 11.35          | 6.25              | 2.10             | 7.12              | 3.68            | 4.10            | 5.13            |



Como indica el Cuadro 6.2 la deficiencia de un aminoácido esencial cambia entre cada tipo de harina, incluso dentro de un mismo grupo. Por ejemplo, el *score* de la harina 1 se debe al contenido de aminoácidos azufrados, lo cual coincide con estudios de perfil de aminoácidos para la mayoría de los hongos (Mattila et al., 2002), siendo estos aminoácidos esenciales los que se presentan en la menor proporción. Para la harina 2, al ser un cereal, su mayor deficiencia es lisina a pesar de encontrarse en un porcentaje relativamente alto para cereales (Arendt y Zannini, 2013). Mientras que para la harina 6 existe deficiencia de valina e isoleucina, siendo la valina junto con triptófano y treonina, uno de los aminoácidos con mayor porcentaje de reducción frente al tratamiento térmico (Rodríguez y Pérez, 2015). En el caso de la harina 8 se observó un contenido relativamente alto de aminoácidos a excepción de isoleucina (82 %), aunque era esperado que su *score* de aminoácidos esenciales sea mayor debido a una menor cantidad de proteína (Thanapornpoonpong et al., 2008).

En el caso de las harinas de legumbres, se observa deficiencia en aminoácidos azufrados, debido a su origen y en treonina siendo la segunda deficiencia más común debido a que es un aminoácido termolábil así como isoleucina cuya restricción nutricional ha sido reportada previamente (De Jager et al., 2019). Finalmente, la deficiencia de aminoácidos azufrados también es observable en la harina 7; además, el *score* de aminoácidos aromáticos es casi 2 veces mayor a la Ingesta Diaria Segura, y debido a su alto contenido calórico resulta ineficaz alcanzar la recomendación diaria de proteínas sin exceder la cantidad de calorías recomendadas debido a su densidad de lípidos. Más aún, la calidad de proteína de esta harina disminuye al considerar la digestibilidad, la cual fue menor de 65 % debido al alto contenido de pared celular y tratamiento térmico de la verdura (Millward, 1999).

Por ello, es necesario realizar mezclas para elevar su PDCAAS; debido a la complejidad del contenido de aminoácidos esenciales de cada materia prima, donde la compensación de un aminoácido mediante la complementación proteínica de mezclas puede elevar a niveles no seguros otro de estos aminoácidos, por ejemplo aromáticos. Asimismo, no se deben descartar harinas con *score* de 0 pues genera más combinaciones y mientras más propuestas de harinas alimenten el problema y muestren independencia lineal entre ellas, como en este caso, el suplemento alimenticio tendrá un mejor PDCAAS.

## 6.2 Caracterización fisicoquímica de la materia prima

Al igual que las diferencias observadas en el perfil de aminoácidos existe diferencia en los parámetros fisicoquímicos de las muestras. El Cuadro 6.3 muestra los resultados de porcentaje de humedad (%H), actividad de agua ( $a_w$ ), densidad ( $\rho$ ), sólidos solubles en agua (dsb), espacio de color (CIELAB), porcentaje de sedimentación (%S), índice de consistencia ( $k$ ), punto de fluencia ( $\tau_0$ ) y ángulo de fase a bajas frecuencias ( $\delta\omega\downarrow$ ), con el fin de establecer especificaciones de cada parámetro dada su relevancia para la preparación del producto final.

Cuadro 6. 3 Resultados de análisis fisicoquímicos de la materia prima utilizada.

| Muestra                                     | 01                   | 02                   | 03                   | 04                   | 05                   | 06                   | 07                   | 08                   | 09                   | 10                   |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>%H</b>                                   | 8.87 <sup>a</sup>    | 9.25 <sup>a</sup>    | 5.94 <sup>b</sup>    | 5.67 <sup>b</sup>    | 7.16 <sup>a</sup>    | 4.64 <sup>c</sup>    | 6.08 <sup>b</sup>    | 9.38 <sup>a</sup>    | 6.47 <sup>b</sup>    | 4.10 <sup>c</sup>    |
| <b>DE</b>                                   | 1.64                 | 1.25                 | 0.26                 | 0.78                 | 0.32                 | 0.72                 | 0.30                 | 0.37                 | 0.94                 | 0.22                 |
| <b>aw</b>                                   | 0.158 <sup>e</sup>   | 0.331 <sup>b</sup>   | 0.235 <sup>cde</sup> | 0.317 <sup>bc</sup>  | 0.282 <sup>bcd</sup> | 0.282 <sup>bcd</sup> | 0.283 <sup>bcd</sup> | 0.428 <sup>a</sup>   | 0.301 <sup>bc</sup>  | 0.200 <sup>de</sup>  |
| <b>DE</b>                                   | 0.014                | 0.035                | 0.019                | 0.001                | 0.062                | 0.007                | 0.032                | 0.027                | 0.041                | 0.010                |
| <b>%S*</b>                                  | 5.55 <sup>c</sup>    | 17.47 <sup>b</sup>   | 27.61 <sup>a</sup>   | 23.31 <sup>ab</sup>  | 23.04 <sup>ab</sup>  | 0 <sup>c</sup>       | 5.51 <sup>c</sup>    | 16.07 <sup>b</sup>   | 22.91 <sup>ab</sup>  | 15.79 <sup>b</sup>   |
| <b>DE</b>                                   | 0.48                 | 0.41                 | 0.89                 | 0.70                 | 4.77                 | 0                    | 1.88                 | 1.60                 | 2.70                 | 3.90                 |
| <b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b> | 0.061 <sup>g</sup>   | 0.297 <sup>e</sup>   | 0.722 <sup>a</sup>   | 0.444 <sup>d</sup>   | 0.536 <sup>b</sup>   | 0.198 <sup>f</sup>   | 0.312 <sup>e</sup>   | 0.401 <sup>cd</sup>  | 0.481 <sup>c</sup>   | 0.451 <sup>d</sup>   |
| <b>DE</b>                                   | 4.3x10 <sup>-6</sup> | 1.1x10 <sup>-5</sup> | 9.2x10 <sup>-6</sup> | 5.0x10 <sup>-6</sup> | 6.0x10 <sup>-6</sup> | 6.1x10 <sup>-6</sup> | 9.3x10 <sup>-6</sup> | 1.7x10 <sup>-5</sup> | 7.7x10 <sup>-6</sup> | 6.5x10 <sup>-6</sup> |
| <b>Dsb</b>                                  | 55.76 <sup>a</sup>   | 2.66 <sup>e</sup>    | 8.51 <sup>d</sup>    | 16.50 <sup>c</sup>   | 12.95 <sup>cd</sup>  | 32.47 <sup>b</sup>   | 53.90 <sup>a</sup>   | 9.67 <sup>d</sup>    | 13.45 <sup>cd</sup>  | 28.92 <sup>b</sup>   |
| <b>DE</b>                                   | 1.29                 | 0.81                 | 1.80                 | 0.88                 | 1.63                 | 1.58                 | 2.65                 | 1.48                 | 0.09                 | 2.59                 |
| <b>L</b>                                    | 85.27 <sup>bc</sup>  | 95.77 <sup>a</sup>   | 74.99 <sup>d</sup>   | 79.69 <sup>cd</sup>  | 88.08 <sup>ab</sup>  | 91.94 <sup>ab</sup>  | 47.07 <sup>e</sup>   | 92.64 <sup>ab</sup>  | 90.50 <sup>ab</sup>  | 92.98 <sup>ab</sup>  |
| <b>DE</b>                                   | 0.89                 | 1.71                 | 3.98                 | 3.95                 | 2.42                 | 1.59                 | 4.12                 | 2.45                 | 0.69                 | 3.97                 |
| <b>a</b>                                    | 1.85 <sup>a</sup>    | -2.96 <sup>b</sup>   | -1.85 <sup>b</sup>   | -2.15 <sup>b</sup>   | -5.52 <sup>c</sup>   | -1.62 <sup>b</sup>   | -16.80 <sup>d</sup>  | -3.26 <sup>bc</sup>  | -3.42 <sup>c</sup>   | -4.08 <sup>c</sup>   |
| <b>DE</b>                                   | 0.47                 | 1.21                 | 1.00                 | 0.86                 | 0.81                 | 0.05                 | 0.95                 | 0.14                 | 0.21                 | 1.53                 |
| <b>b</b>                                    | 30.45 <sup>cd</sup>  | 18.90 <sup>ef</sup>  | 35.26 <sup>bc</sup>  | 16.98 <sup>f</sup>   | 44.40 <sup>a</sup>   | 28.80 <sup>cd</sup>  | 41.55 <sup>ab</sup>  | 28.72 <sup>cd</sup>  | 35.13 <sup>bc</sup>  | 25.23 <sup>de</sup>  |
| <b>DE</b>                                   | 1.97                 | 0.93                 | 0.40                 | 0.14                 | 5.21                 | 2.71                 | 2.59                 | 1.27                 | 3.52                 | 0.93                 |
| <b>k*</b>                                   | 351.0 <sup>a</sup>   | 0.68 <sup>c</sup>    | 0.30 <sup>c</sup>    | 0.37 <sup>c</sup>    | 0.86 <sup>c</sup>    | 112.3 <sup>bc</sup>  | 190.5 <sup>b</sup>   | 14.71 <sup>c</sup>   | 0.50 <sup>c</sup>    | 3.77 <sup>c</sup>    |
| <b>DE</b>                                   | 79.0                 | 0.03                 | 0.06                 | 0.10                 | 0.16                 | 5.52                 | 59.41                | 2.96                 | 0.06                 | 1.9x10 <sup>-4</sup> |
| <b><math>\tau_0</math> (Pa)*</b>            | 132.65 <sup>a</sup>  | 0.044 <sup>b</sup>   | 0.018 <sup>b</sup>   | 0.038 <sup>b</sup>   | 0.035 <sup>b</sup>   | 23.800 <sup>b</sup>  | 99.095 <sup>a</sup>  | 15.950 <sup>b</sup>  | 0.035 <sup>b</sup>   | 0.321 <sup>b</sup>   |
| <b>DE</b>                                   | 24.82                | 0.007                | 0.004                | 1.0x10 <sup>-4</sup> | 0.005                | 3.111                | 23.342               | 4.031                | 0.005                | 0.026                |
| <b><math>\delta_{\omega_i}</math> (°)*</b>  | 8.01 <sup>g</sup>    | 34.80 <sup>ab</sup>  | 39.92 <sup>a</sup>   | 29.16 <sup>bc</sup>  | 39.92 <sup>a</sup>   | 17.21 <sup>ef</sup>  | 8.76 <sup>g</sup>    | 11.31 <sup>fg</sup>  | 25.44 <sup>cd</sup>  | 20.73 <sup>de</sup>  |
| <b>DE</b>                                   | 0.18                 | 0.60                 | 0.23                 | 2.60                 | 0.23                 | 0.00                 | 0.87                 | 0.29                 | 3.94                 | 1.87                 |

\*Valores reportados para una suspensión elaborada con 20 % de la harina correspondiente.

Las letras corresponden a DMSH con  $\alpha=0.05$ , donde letras distintas representan diferencia significativa (Anexo 4).

Como se puede observar, todos los parámetros fisicoquímicos presentan diferencia significativa. El porcentaje de humedad se dividió en tres grupos: el primero entre 7.16 y 9.38 % correspondiente a la mayoría de los cereales y al hongo, el segundo entre 5.67 y 6.47 % correspondiente a las leguminosas y el tercero 4.10 % a un pseudocereal. Por otra parte, la actividad de agua varió entre 0.158 a 0.428 dividiéndose en 5 grupos, asociándose inversamente con la cantidad de proteína, dado que los grupos polares de este polímero interactúan con el agua disminuyendo su disponibilidad (Martini et al., 2013). Ambos parámetros son relevantes para determinar la estabilidad de los suplementos; el primero se correlaciona con el contenido de macronutrientes ya que durante el secado la eliminación de agua los concentra; a su vez, se correlaciona con la dureza de la materia, permitiendo reducir su tamaño de partícula y aumentar el rendimiento de la molienda, mientras que el segundo se relaciona directamente con la vida de anaquel para impedir el crecimiento microbiano y con la estabilidad asociada a reacciones químicas como deterioro o reacción de Maillard y apelmazamiento, así como en la percepción sensorial del mismo. (Shafiur Rahman, 2007).

El porcentaje de sedimentación se relaciona proporcionalmente con la densidad y ángulo de fase y es inversamente proporcional a la solubilidad, viscosidad del sistema y el límite elástico. Se espera que una mayor diferencia de densidad entre las partículas y el fluido aumente la velocidad de sedimentación la cual depende de los sólidos con densidad superior al fluido (sólidos sedimentables) (Rajput y Thakur, 2016). Dado que el valor de densidad en el Cuadro 6.3 es en realidad un promedio basado en los espacios intermoleculares y la distribución del tamaño de partícula, aquellos valores superiores corresponden también a un mayor contenido de sólidos sedimentables, lo que se puede asociar a tamaños de partícula superiores (Mendoza, 2020). Para el ángulo de fase, todos los valores fueron menores a  $45^\circ$ , lo que indica la predominancia del módulo de almacenamiento  $G'$  lo que describe un sólido viscoelástico. Sin embargo, al haber diferencia significativa en el ángulo, la fricción interna difiere para cada tipo de harina, lo cual se corrobora con el límite elástico, donde valores superiores como en el caso de las harinas 1, 6 y 7 corresponden a una mayor fuerza de unión debido a la interacción de las partículas, así también, se puede observar con el índice de consistencia, el cual está relacionado con la viscosidad de un fluido a bajas velocidades de corte (Trejo y Vazquez, 2011), que valores superiores se relacionan con una limitación del movimiento de las partículas dentro del sistema, lo que desfavorece la separación de las muestras durante la centrifugación y se puede relacionar con el módulo complejo (Toxtle, 2020). Finalmente, aquellas muestras con mayor contenido de sólidos solubles presentan un menor porcentaje de sedimentación debido a la interacción con el agua lo que a su vez favorece la repulsión y dispersión de las mismas, disminuyendo el porcentaje de sedimentación (Liyanage et al., 2016).

Naturalmente, el color mostrará diferencia significativa en sus parámetros CIELAB debido al origen variado de las harinas utilizadas. Se puede distinguir que los cereales presentaron

una mayor luminosidad (parámetro **L**) que las legumbres y hongos y hierbas lo que puede asociarse con un menor porcentaje de cenizas y menor tendencia al rojo, pero también a un menor pardeamiento enzimático y no enzimático, debido a su menor contenido de proteínas. En el parámetro **a**, aquellas harinas con un mayor contenido de clorofila presentaron una coloración más negativa; dentro de un mismo grupo aquellos con mayor contenido de aminoácidos aromáticos presentaron tonos más verdes. Para el parámetro **b**, los cereales presentaron coloración más amarilla seguida generalmente de las leguminosas y hongos y hierbas con tonos más azules lo que se relaciona a un mayor contenido de taninos (Büyükçapar y Kamalak, 2007) además de que estas muestras fueron sometidas al secado, lo cual favorece las reacciones de Maillard (Lund y Ray, 2017). Dentro de un mismo grupo, aquellos con un menor contenido de aminoácidos alifáticos presentaron tonos más amarillos, lo cual puede asociarse a una menor cantidad de enlaces conjugados.

## 6.2 Programación lineal

### 6.2.1 Planteamiento del problema

El objetivo de la optimización lineal en el diseño del suplemento alimenticio enfocado en MPE consistió en obtener un producto que satisfaga las necesidades nutricionales de un paciente con malnutrición proteínico-energética, por lo que el suplemento debe garantizar la recomendación de ingesta diaria de proteína establecida (Holdoway, 2014) y su fuente de proteína debe ser de alto valor biológico.

Sin embargo, en el diseño de un suplemento para MPE resulta más relevante el PDCAAS del producto para garantizar la calidad proteínica del mismo y así optimizar su aprovechamiento para el crecimiento, síntesis y reparación tisular (Suárez López, Kizlansky, y López, 2006) de tal manera que el modelo de optimización debe contemplar el porcentaje de proteína digerible y la cantidad de cada aminoácido esencial en la mezcla dentro de la función objetivo. Por el contrario, la cantidad de proteína contenida en el suplemento no resultó relevante en esta etapa, debido a que el PDCAAS está referido a g de aminoácido por cada g de proteína digerible; en consecuencia, este parámetro, así como aquellos relacionados al aspecto sensorial, estabilidad y proceso fueron evaluados en la reformulación de la mezcla.

A su vez, la elección de la variable de decisión debe contemplar los parámetros de proteína digerible y aminoácidos esenciales. Ya que el *score* de aminoácidos depende del aminoácido que esté en menor proporción a la proteína de referencia, es necesario contemplar una ecuación de restricción para cada aminoácido esencial minimizando esta diferencia. La variable de decisión que controla el modelo y se asocia a las harinas y sus combinaciones seleccionada fue la masa de cada harina representada por  $x_n$ , debido a que el balance de materia de cada aminoácido esencial relaciona la masa y los parámetros de aminoácidos esenciales para posteriormente dividirse entre la cantidad de proteína digerible de la mezcla obtenida a través del balance de materia de proteína digerible.

El balance de materia de la cantidad de un aminoácido esencial en el suplemento quedaría definido como:

$$[12] \quad gA_S = \frac{gA_1}{100}x_1 + \frac{gA_2}{100}x_2 + \frac{gA_3}{100}x_3 + \frac{gA_4}{100}x_4 + \frac{gA_5}{100}x_5 + \frac{gA_6}{100}x_6 + \frac{gA_7}{100}x_7 + \frac{gA_8}{100}x_8 + \frac{gA_9}{100}x_9 + \frac{gA_{10}}{100}x_{10}$$

Donde:

$gA_n$  = masa (g) de aminoácido esencial

$x_n$  = masa (g) de harina

$n$  = número de harina donde S es suplemento

$A_n$  = Tipo de aminoácido esencial (W, T, I, L, K, M+C, F+Y o V)

Por ejemplo, en el caso de triptófano, los valores de  $gW_n$  se pueden sustituir con los datos del Cuadro 6.2:

$$[13] \quad gW_S = 0.36x_1 + 0.08x_2 + 0.10x_3 + 0.19x_4 + 1.70x_5 + 0.15x_6 + 0.21x_7 + 0.08x_8 + 0.11x_9 + 0.11x_{10}$$

Así también el balance de material para la cantidad de proteína digerible en el suplemento se puede expresar como:

$$[14] \quad gPD_S = \frac{gPD_1}{100}x_1 + \frac{gPD_2}{100}x_2 + \frac{gPD_3}{100}x_3 + \frac{gPD_4}{100}x_4 + \frac{gPD_5}{100}x_5 + \frac{gPD_6}{100}x_6 + \frac{gPD_7}{100}x_7 + \frac{gPD_8}{100}x_8 + \frac{gPD_9}{100}x_9 + \frac{gPD_{10}}{100}x_{10}$$

Donde:

$gPD_n$  = masa (g) de Proteína digerible en la harina

Nuevamente se realiza la sustitución de valores con los datos del Cuadro 6.1:

$$[15] \quad gPD_S = 38.50x_1 + 9.71x_2 + 20.48x_3 + 21.28x_4 + 15.20x_5 + 15.05x_6 + 15.87x_7 + 11.08x_8 + 13.01x_9 + 20.82x_{10}$$

De esta manera se pueden sustituir [12] y [14] en la ecuación de la puntuación de aminoácidos [1], si a su vez, se sustituyen los valores de referencia del Cuadro 4.5 y se agrega un factor unitario para concordancia de unidades, se obtiene que:

[16]

$$\frac{gA_1x_1 + gA_2x_2 + gA_3x_3 + gA_4x_4 + gA_5x_5 + gA_6x_6 + gA_7x_7 + gA_8x_8 + gA_9x_9 + gA_{10}x_{10}}{gPD_1x_1 + gPD_2x_2 + gPD_3x_3 + gPD_4x_4 + gPD_5x_5 + gPD_6x_6 + gPD_7x_7 + gPD_8x_8 + gPD_9x_9 + gPD_{10}x_{10}} * \frac{1000 \frac{mg W}{g W}}{gA_{ref} \frac{mg W}{g PD}} \approx 1$$

Como parte del planteamiento del problema la ecuación de restricción se construyó con una igualdad a 1, es decir que la combinación de masa (g) de harinas se asemeje a la proteína de referencia en todas sus proporciones de aminoácidos esenciales.

Para el caso de W, la ecuación se expresa a continuación:

[17]

$$\frac{0.36x_1+0.08x_2+0.10x_3+0.19x_4+1.70x_5+0.15x_6+0.21x_7+0.08x_8+0.11x_9+0.11x_{10}}{38.50x_1+9.71x_2+20.48x_3+21.28x_4+15.20x_5+15.05x_6+15.87x_7+11.08x_8+13.01x_9+20.82x_{10}} * \frac{1000 \frac{\text{mg W}}{\text{g W}}}{6 \frac{\text{mg W}}{\text{g PD}}} \approx 1$$

Debido a que la ecuación de PDCAAS es una relación no lineal fue necesario transformar esta expresión a una lineal y considerar los casos donde en donde la variable de decisión tome el valor de 0, pero no valores negativos (Ferguson et al., 2004). En la ecuación [18] se muestra el reacomodo de la ecuación para llegar a la ecuación de restricción lineal basándose en los datos de los Cuadros 6.1 y 6.2.

[18]

$$\frac{gA_1x_1+gA_2x_2+gA_3x_3+gA_4x_4+gA_5x_5+gA_6x_6+gA_7x_7+gA_8x_8+gA_9x_9+gA_{10}x_{10}}{gPD_1x_1+gPD_2x_2+gPD_3x_3+gPD_4x_4+gPD_5x_5+gPD_6x_6+gPD_7x_7+gPD_8x_8+gPD_9x_9+gPD_{10}x_{10}} = \frac{g PD_{ref}}{g A_{ref}}$$

Que tras linealizar se expresa como:

$$[19] \quad x_1 \left( gA_1 - \frac{g PD_{ref}}{g A_{ref}} PD_1 \right) + x_2 \left( gA_2 - \frac{g PD_{ref}}{g A_{ref}} PD_2 \right) + \dots + x_9 \left( gA_9 - \frac{g PD_{ref}}{g A_{ref}} PD_9 \right) + x_{10} \left( gA_{10} - \frac{g PD_{ref}}{g A_{ref}} P_{10} \right) \cong 0$$

En el caso de triptófano la ecuación se linealiza como:

[20]

$$\frac{0.36x_1+0.08x_2+0.10x_3+0.19x_4+1.70x_5+0.15x_6+0.21x_7+0.08x_8+0.11x_9+0.11x_{10}}{38.50x_1+9.71x_2+20.48x_3+21.28x_4+15.20x_5+15.05x_6+15.87x_7+11.08x_8+13.01x_9+20.82x_{10}} = 0.006 \frac{g PD}{g W}$$

$$0.36x_1+0.08x_2+0.10x_3+0.19x_4+1.70x_5+0.15x_6+0.21x_7+0.08x_8+0.11x_9+0.11x_{10} = 0.006 \frac{g PD}{g W} * DEN$$

$$= 0.231x_1+0.058x_2+0.123x_3+0.128x_4+0.091x_5+0.090x_6+0.095x_7+0.066x_8+0.075x_9+0.125x_{10}$$

$$\therefore 0.129x_1+0.022x_2-0.023x_3+0.062x_4+1.609x_5+0.060x_6+0.115x_7+0.014x_8+0.032x_9-0.015x_{10} = 0$$

La linealización de las ecuaciones del *score* de aminoácidos se aplicó para los ocho casos de aminoácidos esenciales conforme a la ecuación [16] variando los coeficientes de A conforme a cada aminoácido esencial y su recomendación para obtener una ecuación del tipo [19].

Para que la FO (basada en el *score* de aminoácidos) fuera optimizada se aseguró que la ecuación linealizada estuviera conformada por valores positivos y negativos y se construyó como la suma de las ecuaciones de restricción con el fin de garantizar que se cumpliera con el contenido de cada uno de los aminoácidos esenciales de la proteína de referencia.

[21]:

$$\begin{aligned}
W & 0.129x_1+0.022x_2-0.023x_3+0.062x_4+1.609x_5+0.060x_6+0.115x_7+0.014x_8+0.032x_9-0.015x_{10} - \\
T & 0.226x_1+0.247x_2-0.471x_3-0.489x_4+0.460x_5-0.246x_6+0.585x_7+0.235x_8+0.441x_9 + 0.361x_{10} - \\
I & 0.655x_1 - 0.181x_2-0.614x_3+3.362x_4-0.176x_5-0.452x_6+0.374x_7 - 0.082x_8-0.140x_9-0.355x_{10} - \\
L & 1.362x_1 - 0.083x_2-0.508x_3+1.984x_4+0.033x_5-0.508x_6+1.074x_7+0.026x_8-0.058x_9-0.388x_{10} - \\
K & 1.133x_1-0.377x_2+0.158x_3+0.302x_4+0.256x_5-0.007x_6+0.586x_7+0.231x_8+0.105x_9+0.143x_{10} - \\
M+C & 0.567x_1+0.086x_2-0.451x_3+0.462x_4 - 0.034x_5-0.001x_6+0.201x_7-0.004x_8+0.004x_9-0.188x_{10}+ \\
F+Y & 0.495x_1+0.739x_2-0.294x_3+0.412x_4+0.404x_5+0.019x_6+2.024x_7+0.458x_8+0.750x_9+0.595x_{10}+ \\
V & 0.612x_1-0.079x_2-0.759x_3-0.150x_4-0.043x_5-0.587x_6+0.971x_7-0.012x_8-0.097x_9-0.312x_{10}= \\
AE & -3.929x_1+0.374x_2-2.962x_3+5.945x_4+2.509x_5-1.723x_6+5.929x_7+0.866x_8+1.035x_9-0.158x_{10}
\end{aligned}$$

Es así como la ecuación se establece como la función objetivo, buscando minimizarse, dado que los valores  $x_n$  están restringidos para tomar valores positivos. Cabe mencionar que se intentó considerar la función objetivo igual a 0 sin embargo, no se presentaron valores que satisfagan todas las condiciones, por lo tanto, y debido a que el término asociado con la proteína digerible y el valor de referencia debe disminuir conforme se satisfaga o exceda la condición de la puntuación de aminoácidos.

Es así como el modelo de optimización puede ser descrito como:

[22]

$$\text{min: } -3.929x_1+0.374x_2-2.962x_3+5.945x_4+2.509x_5-1.723x_6+5.929x_7+0.866x_8+1.035x_9-0.158x_{10}$$

sujeto a:

$$\begin{aligned}
& 0.129x_1+0.022x_2-0.023x_3+0.062x_4+1.609x_5+0.060x_6+0.115x_7+0.014x_8+0.032x_9-0.015x_{10} = 0 \\
& -0.226x_1+0.247x_2-0.471x_3-0.489x_4+0.460x_5-0.246x_6+0.585x_7+0.235x_8+0.441x_9 + 0.361x_{10} = 0 \\
& 0.655x_1 - 0.181x_2-0.614x_3+3.362x_4-0.176x_5-0.452x_6+0.374x_7 - 0.082x_8-0.140x_9-0.355x_{10} = 0 \\
& -1.362x_1 - 0.083x_2-0.508x_3+1.984x_4+0.033x_5-0.508x_6+1.074x_7+0.026x_8-0.058x_9-0.388x_{10} = 0 \\
& -1.133x_1-0.377x_2+0.158x_3+0.302x_4+0.256x_5-0.007x_6+0.586x_7+0.231x_8+0.105x_9+0.143x_{10} = 0 \\
& -0.567x_1+0.086x_2-0.451x_3+0.462x_4 - 0.034x_5-0.001x_6+0.201x_7-0.004x_8+0.004x_9-0.188x_{10}=0 \\
& 0.495x_1+0.739x_2-0.294x_3+0.412x_4+0.404x_5+0.019x_6+2.024x_7+0.458x_8+0.750x_9+0.595x_{10} = 0 \\
& 0.612x_1-0.079x_2-0.759x_3-0.150x_4-0.043x_5-0.587x_6+0.971x_7-0.012x_8-0.097x_9-0.312x_{10} = 0
\end{aligned}$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10} \geq 0$$

## 6.2.2 Solución del algoritmo.

A continuación se presenta la solución del algoritmo, para ello se capturaron las ecuaciones en una hoja de cálculo y mediante el software mencionado se establecieron las celdas de restricción correspondientes a las ecuaciones de los aminoácidos esenciales, así como la función objetivo que corresponde a la cantidad de aminoácidos esenciales y las variables de decisión correspondientes a los gramos de muestra para alimentar el modelo. (Fig 9). Cada columna representa un tipo de harina a utilizar así como las recomendaciones de aminoácidos, cada fila muestra un parámetro fisicoquímico necesario para el cálculo de los valores nutrimentales del suplemento y la función objetivo. A su vez se añadió una columna para el *score* sin linealizar con el fin de visualizar los resultados a través de las combinaciones del algoritmo.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Formula Bar:**  $=(((C24/100*C14)+(D24/100*D14)+(E24/100*E14)+(F24/100*F14)+(G24/100*G14)+(H24/100*H14)+(I24/100*I14)+(J24/100*J14)+(K24/100*K14))/(C39))*1000-L14$
- Table 1 (Nutrients):**

|                             | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 10          | Columna1 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|----------|
| Materia seca                | 94.710  | 91.900  | 98.020  | 97.520  | 99.030  | 93.610  | 95.210  | 93.330  | 95.980      |          |
| Humedad                     | 5.290   | 8.300   | 1.980   | 2.480   | 6.500   | 6.390   | 4.790   | 6.670   | 4.020       |          |
| Proteína cruda              | 39.490  | 9.810   | 23.070  | 20.650  | 21.210  | 18.530  | 14.890  | 20.120  | 16.850      |          |
| Extracto etéreo             | 0.390   | 6.090   | 0.290   | 0.610   | 3.190   | 4.230   | 5.750   | 6.400   | 6.650       |          |
| Cenizas                     | 11.650  | 1.110   | 2.530   | 5.130   | 2.500   | 2.680   | 2.960   | 17.790  | 2.730       |          |
| Fibra cruda                 | 11.530  | 1.600   | 4.070   | 5.360   | 6.420   | 3.280   | 4.900   | 5.220   | 0.500       |          |
| Extracto libre de N (Carbs) | 31.660  | 73.300  | 68.060  | 65.780  | 60.190  | 64.890  | 66.770  | 43.810  | 69.260      |          |
| Proteína de aminoácidos     | 24.100  | 9.240   | 18.210  | 20.330  | 18.160  | 12.950  | 14.360  | 22.275  | 19.190      |          |
| Proteína digestible         | 38.500  | 9.710   | 20.480  | 20.820  | 15.440  | 15.200  | 15.060  | 13.970  | 13.010      |          |
| Energía                     | 388.000 | 397.160 | 367.130 | 351.120 | 333.150 | 371.750 | 378.150 | 313.320 | 404.290     |          |
| Energía de proteína         | 64      | 38.84   | 81.92   | 83.28   | 61.76   | 60.8    | 60.2    | 63.48   | 52.04       |          |
| Triptófano                  | 0.36    | 0.08    | 0.1     | 0.11    | 0.19    | 1.7     | 0.15    | 0.21    | 0.11        | 6.000    |
| Treonina                    | 0.660   | 0.47    | 0.000   | 0.84    | 0.000   | 0.81    | 0.1     | 0.95    | 0.74        | 23.000   |
| Isoleucina                  | 0.502   | 0.11    | 0.000   | 0.27    | 4.000   | 0.28    | 0       | 0.85    | 0.25        | 45.000   |
| Leucina                     | 0.912   | 0.49    | 0.700   | 0.84    | 3.240   | 0.98    | 0.38    | 2.01    | 0.72        | 59.000   |
| Lisina                      | 0.600   | 0.06    | 1.080   | 1.08    | 1.260   | 0.94    | 0.67    | 1.3     | 0.69        | 45.000   |
| Metionina+Cisteína          | 0.285   | 0.300   | 0.000   | 0.270   | 0.930   | 0.180   | 0.330   | 0.550   | 0.29        | 22.000   |
| Fenilalanina+Tirosina       | 1.656   | 1.030   | 0.320   | 1.220   | 1.050   | 0.860   | 0.470   | 2.500   | 1.15        | 30.000   |
| Valina                      | 0.890   | 0.30    | 0.040   | 0.5     | 0.680   | 0.55    | 0       | 1.59    | 0.41        | 39.000   |
| Aminoácidos no esenciales   | 18.235  | 6.400   | 15.970  | 15.200  | 6.810   | 6.700   | 12.260  | 12.315  | 14.830      |          |
| g harina                    | 60.255  | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 63.133  | 0.000   | 0.000   | 62.836  | 112.2238278 |          |
|                             | 45%     | 0%      | 0%      | 0%      | 26%     | 0%      | 0%      | 0%      | 29%         |          |
- Table 2 (Score biológico):**

|                       | Triptófano  | Treonina    | Isoleucina | Leucina | Lisina | Metionina+Cisteína | Fenilalanina+Tirosina | Valina |
|-----------------------|-------------|-------------|------------|---------|--------|--------------------|-----------------------|--------|
| Triptófano            | **1000-L14  | 11.49169046 | 192%       |         |        |                    |                       |        |
| Treonina              | 1.244461654 | 24.24446145 | 105%       |         |        |                    |                       |        |
| Isoleucina            | 18.26870654 | 63.26870654 | 141%       |         |        |                    |                       |        |
| Leucina               | 10.13158341 | 69.13158341 | 117%       |         |        |                    |                       |        |
| Lisina                | -7.23422896 | 37.76577104 | 84%        |         |        |                    |                       |        |
| Metionina+Cisteína    | -0.50990017 | 21.49099983 | 98%        |         |        |                    |                       |        |
| Fenilalanina+Tirosina | 33.94628124 | 63.94628124 | 213%       |         |        |                    |                       |        |
| Valina                | -6.0930695  | 32.9069305  | 84%        |         |        |                    |                       |        |
| Energía individual    | 333.755528  |             |            |         |        |                    |                       |        |

Figura 9. Hoja de cálculo con el planteamiento del modelo.

Para resolver el algoritmo, se realizó una transformación de un problema no lineal tal como una división de variables (la ecuación de la suma del *score* de aminoácidos esenciales basado en el balance de materia) a una solución de un modelo de programación lineal entera mixta. Una vez realizada dicha transformación, el programa se basó en el lenguaje *Restful Analytic Solver*® Object Notation y mediante una serie de algoritmos (como algoritmos genéticos y evolutivos), hasta que se encontrara un mínimo local realizando iteraciones cada vez que la función decrecía y con el fin de establecer una solución óptima se probaba dicho valor nuevamente hasta encontrar aquella combinación que se ajustara mejor al modelo (Figura 10).



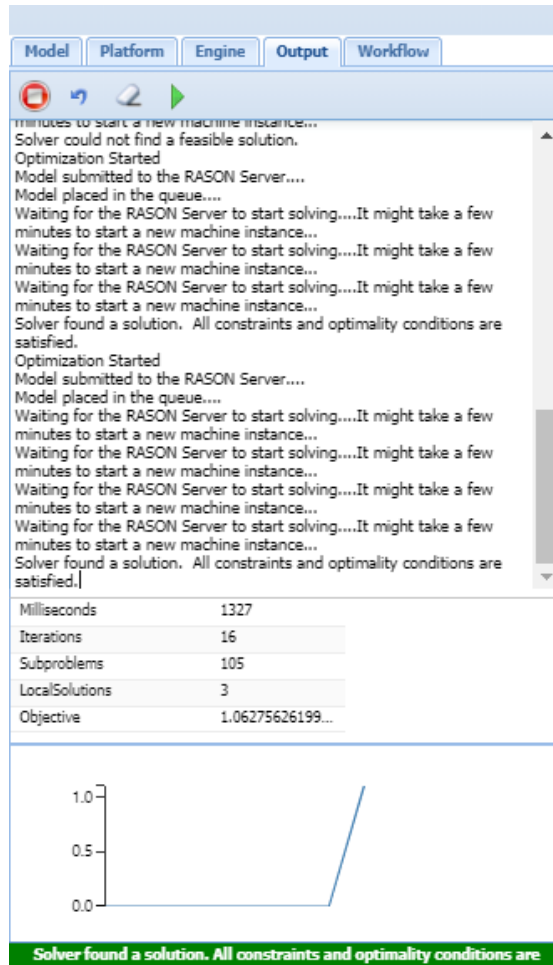


Figura 10. Solución de la optimización mediante la serie de algoritmos RASON.

La suma de harinas no se acotó a un valor de referencia al resolver el modelo de optimización. Tras obtener los resultados, los gramos de harina se ajustaron a base 100 para establecer la fórmula de la mezcla de harinas en porcentaje. En el Cuadro 6.4, se observa la masa (g) de harina que minimizan la función objetivo y el *score* obtenido para cada aminoácido esencial. Debido a la combinación de las harinas y a las 8 restricciones formadas, se observa que en la mayoría de las restricciones se excede el *score* de aminoácidos para Triptófano y Fenilalanina y Tirosina en niveles cercanos a la ingesta segura recomendada, a pesar de ello, una ingesta alta de aminoácidos aromáticos se ha asociado con una mayor síntesis de proteínas para la rehabilitación de malnutrición aguda en niños (Hsu et al., 2016). Más aun, no se han establecido los niveles de toxicidad y tolerancia de los aminoácidos debido al margen de extrapolación en estudios con animales y humanos (Nair y Jacob, 2016; Reagan-Shaw, Nihal, y Ahmad, 2008) y por definición el valor máximo de un *score* automáticamente se ajusta a 100 % (Schmidl y Labuza, 2000). En este estudio, los valores calculados de aminoácidos limitantes se muestran sin ajuste para fines demostrativos.

Cuadro 6. 4. Primera solución del algoritmo de optimización.

| Fórmula          | %                  |
|------------------|--------------------|
| %Harina 1        | 45.9               |
| %Harina 3        | 12.0               |
| % Harina 4       | 25.2               |
| %Harina 9        | 16.9               |
| Función Objetivo | 0.008              |
| PDCAAS*          | 74.86 <sup>v</sup> |

Los resultados obtenidos muestran que no existe una mezcla ideal que satisfaga todos los requerimientos en aminoácidos esenciales con la materia prima utilizada, por lo mismo la función objetivo no encontró una combinación de valores en las que sea igual a 0; es decir donde todos los valores de *score* fueran 100 %; sin embargo, dado que el origen de la materia prima es una fuente de origen no animal es aceptable un producto con PDCAAS superior al 70 %, además el suplemento alimenticio está diseñado para suplir 20 % de las calorías de la dieta de una persona y que dado que se pretende que sea un producto de acceso para la población mexicana, no se consideró agregar valina o lisina en polvo.

### 6.2.3 Análisis de sensibilidad de la solución

Con el fin de establecer un mejor *score* de aminoácidos, se ajustó la función de restricción mediante una segunda corrida, con un nuevo modelo con un límite inferior de valina, lo que elevó esta limitación (*score* > 85 %) pero impactando en lisina (*score* > 83 %). Por, ello se corrieron dos modelos con restricciones para ambos aminoácidos en lisina (*score* > 83 %) y valina (*score* > 88 %), lo que repercute en la función objetivo previamente planteada; sin embargo, elevar la puntuación de aminoácidos es la necesidad primordial del diseño del suplemento alimenticio enfocado en MPE y por lo mismo se debe considerar el PDCAAS y los niveles de ingesta segura de los aminoácidos aromáticos como criterios cuando no sea posible alcanzar todas las restricciones y éstas se aproximen debido a que no existe una combinación ideal con los productos estudiados. (Cuadro 6.5).

*Cuadro 6. 5. Resumen de propuestas de suplemento alimenticio para MPE mediante PL.*

| <b>Formula (g/100 g)</b>   | <b>516</b>         | <b>911</b>         | <b>787</b>         | <b>161</b>         |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| %Harina 1                  | 45.9               | 44.8               | 54.3               | 45.1               |
| %Harina 2                  | -                  | -                  | -                  | 3.9                |
| %Harina 3                  | 12.0               | -                  | -                  | -                  |
| %Harina 4                  | 25.2               | 26.0               | 28.0               | 36.3               |
| %Harina 9                  | 16.9               | 29.3               | 17.7               | 14.6               |
| Función Objetivo           | 0.008              | 0.011              | 0.012              | 0.019              |
| %Score W                   | 193                | 192                | 207                | 202                |
| %Score T                   |                    | 105                | 167                | 177                |
| %Score I                   | 135                | 141                | 149                | 185                |
| %Score L                   | 116                | 117                | 121                | 141                |
| %Score K                   | 88                 | 84                 | 83                 | 90                 |
| %Score M+C                 | 89                 | 98                 | 99                 | 112                |
| %Score F+Y                 | 199                | 213                | 216                | 216                |
| %Score V                   | 80                 | 84                 | 89                 | 89                 |
| AA alifáticos              | 4.96               | 5.80               | 5.25               | 4.85               |
| AA aromáticos              | 1.59               | 1.58               | 1.66               | 1.50               |
| AA hidroxilados            | 2.03               | 1.90               | 2.00               | 1.77               |
| AA básicos                 | 2.46               | 2.73               | 2.50               | 2.52               |
| AA ácidos                  | 9.64               | 8.87               | 9.64               | 9.89               |
| Digestibilidad             | 93.58              | 92.16              | 94.55              | 95.44              |
| PDCAAS*                    | 74.86 <sup>V</sup> | 77.41 <sup>V</sup> | 78.47 <sup>K</sup> | 84.94 <sup>V</sup> |
| Proteína cruda             | 28.25              | 28.55              | 30.45              | 29.21              |
| Extracto etéreo            | 2.18               | 1.47               | 1.45               | 1.39               |
| Carbohidratos              | 50.30              | 49.48              | 46.63              | 49.79              |
| Energía de proteína (kcal) | 112.99             | 114.20             | 121.81             | 116.84             |
| Energía (kcal)             | 328.55             | 333.75             | 321.40             | 325.32             |

\*La letra del PDCAAS representa el aminoácido limitante

El ajuste de la solución se basa primordialmente en tres harinas: la 1 en mayor porcentaje (44.8-54.3 %), la 4, que en su mayoría presenta el segundo mayor porcentaje (25.0-36.3 %)

y la harina 9 (14.6-26 %), con un coeficiente de variación en la función objetivo de 37 %. Sin embargo se puede observar el incremento del *score* de cada harina individual pudiendo complementar la cantidad de aminoácido limitante para cada una de las harinas utilizadas con un incremento de al menos 26 % para metionina y cisteína y un incremento alrededor del 88 % para treonina. Lo cual corrobora la utilidad de realizar la programación lineal. Globalmente el PDCAAS aumentó 25 % asociándose ahora a la valina como aminoácido limitante.

Como se puede observar en el Cuadro 6.5 la cantidad de energía muestra valores menores a los encontrados para las harinas individualmente, por lo que se observa una reducción en la densidad de calorías de las mezclas, principalmente dada por reducción.

Por otra parte, dada la complejidad de los aspectos sensoriales, fisicoquímicos y de proceso aunado a las restricciones de un modelo robusto limitaría la obtención de un *score* de aminoácidos en cumplimiento con dichos aspectos que además son dependientes de la presentación del producto y que no impactan en el modelo debido a que está basado en gramos de aminoácido por gramos de proteína digerible, de tal manera que estos se pueden ajustar al reformular el suplemento y sólo se verá afectado por las consideraciones de ingesta de proteína, calorías del suplemento y tamaño del producto.

#### 6.2.4 Reformulación del suplemento

Para la reformulación del suplemento se consideró la altura promedio de un mexicano (1.70 m) con los datos de la ENSANUT el fin de obtener la masa ideal asociada (70 kg) para establecer la cantidad de proteína recomendada para personas con MPE (INSP, 2012) debido a que este valor está referido a kg de masa corporal. A su vez, se limitó la cantidad de proteína para suplir alrededor de 40 % del contenido de este nutrimento y se fijó la densidad calórica para no exceder 25 % de las calorías totales (Holdoway, 2014); estableciéndose así la cantidad de suplemento a consumir en un día. Por ello, se consideraron tres tomas diarias del suplemento, para distribuir la porción considerando así tres porciones alrededor de 25 g, lo equivale a 75 g al día para satisfacer las recomendaciones. Cabe señalar que como se mencionó anteriormente, no existe un consenso sobre una sola estrategia universal y sencilla, por ello es necesario estudiar las necesidades individuales de los pacientes en proteína, energía y micronutrientes. Sin embargo, una de las ventajas del modelo es que es fácilmente adaptable una vez teniendo dichas restricciones.

Con el fin de incrementar el nivel de agrado de las muestras, se probaron dos sabores asociados con el color del suplemento (tamarindo y chocolate) para potenciar estos sabores y disminuir el resabio de las harinas, se ajustó también el contenido de ácido cítrico y sal para potenciar el sabor tamarindo y el uso de edulcorantes para potenciar el sabor chocolate con una serie de pruebas previas; además con el fin de ajustarse a la densidad de carbohidratos se propuso una reducción de azúcar, cada ingrediente o aditivo seleccionado fue de origen

no proteínico para no alterar el PDCAAS, además el aporte de calorías de cada ingrediente debió de contemplarse para cumplir con la densidad calórica deseada. De tal manera que la cantidad de agua fue establecida para disminuir el número de tomas al día, además de minimizarla con el fin de aumentar la cantidad de proteína; por ello, la consistencia de bebida tuvo que ser descartada el PDCAAS.

En el Cuadro 6.6 se muestran las cuatro propuestas estudiadas tras establecer niveles de ingredientes y aditivos en concordancia con los valores nutrimentales deseados así como para la preparación adecuada de los bites de proteína. Cada suplemento fue evaluado internamente por el Laboratorio de Ingeniería de Proceso y el panel del Laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Química.

*Cuadro 6. 6 Reformulación de suplementos*

| Formulación (%) | 391    | 658    | 527    | 328    |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Sabor Tamarindo | 1.36   | 1.13   | -      | -      |
| Sabor Chocolate | -      | -      | 0.9    | 0.9    |
| Ácido cítrico   | 1.42   | 1.09   | -      | -      |
| Maltitol        | -      | 3      | -      | 6      |
| Azúcar          | 21.76  | 15.86  | 20     | 20     |
| Sal             | 1.90   | 4.53   | -      | -      |
| Harinas         | 34.65  | 34.69  | 33.28  | 34.65  |
| Agua            | 42.41  | 42.39  | 40.66  | 42.41  |
| Total           | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

Tras un consenso se seleccionó la propuesta de formulación 328 y se probó para todas las mezclas de harinas obtenidas con el algoritmo. Para estudiar el efecto de cada materia prima en la reformulación del suplemento y las diferencias entre las mezclas se realizó un análisis fisicoquímico de las muestras. El Cuadro 6.7 muestra el porcentaje de humedad (%H) y actividad de agua (aw) para los bites y mezcla en polvo, el porcentaje de sedimentación (%S) densidad ( $\rho$ ), sólidos solubles en agua (dsb) se muestran para el polvo y los parámetros CIELAB de espacio de color ( $L^*a^*b^*$ ) para los bites de proteína.

#### 6.2.4.1 Caracterización fisicoquímica de los suplementos

Cuadro 6. 7. Parámetros fisicoquímicos de los suplementos para MPE en polvo

| Muestra                     | 516                | 911                 | 787                 | 161                 |
|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| %H                          | 6.59 <sup>a</sup>  | 6.16 <sup>a</sup>   | 4.77 <sup>b</sup>   | 4.98 <sup>b</sup>   |
| DE                          | 0.54               | 0.84                | 0.13                | 0.37                |
| aw                          | 0.357 <sup>c</sup> | 0.382 <sup>bc</sup> | 0.439 <sup>a</sup>  | 0.391 <sup>b</sup>  |
| DE                          | 0.012              | 0.001               | 0.003               | 0.017               |
| $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.336 <sup>b</sup> | 0.291 <sup>c</sup>  | 0.426 <sup>a</sup>  | 0.309 <sup>bc</sup> |
| DE                          | 0.017              | 0.008               | 0.014               | 0.018               |
| dsb                         | 51.85              | 62.99               | 49.99               | 50.93               |
| DE                          | 8.34               | 4.63                | 9.13                | 12.03               |
| L                           | 79.83              | 77.82               | 73.48               | 78.14               |
| DE                          | 5.69               | 8.43                | 7.99                | 3.40                |
| a                           | -1.60              | -1.90               | -0.72               | -0.21               |
| DE                          | 0.74               | 0.55                | 0.55                | 1.00                |
| b                           | 25.06 <sup>c</sup> | 26.36 <sup>bc</sup> | 33.86 <sup>ab</sup> | 34.86 <sup>a</sup>  |
| DE                          | 3.88               | 3.40                | 2.94                | 2.94                |
| %sinéresis                  | 0                  | 0                   | 0                   | 0                   |
| DE                          | 0                  | 0                   | 0                   | 0                   |

\*Las letras corresponden a DMSH con  $\alpha=0.05$ , donde letras distintas representan diferencia significativa. (Anexo 5)

Como se muestra en dicho Cuadro, solamente se presentó diferencia significativa en humedad, actividad de agua, densidad, dsb y el parámetro **b** del color. La humedad se separó en dos grupos, esta diferencia se relaciona principalmente al contenido de estos nutrientes de la harina 3 (siendo mayor en 516) y el contenido de la harina 1 (Siendo mayor en 911); en el caso de la actividad de agua, se observó una correlación entre el contenido de carbohidratos y este valor, a mayor contenido de carbohidratos, se observa un menor contenido de agua disponible; a pesar que en general las harinas 2, 3, 4 y 9 no presentaron diferencias significativas en las pruebas individuales. A su vez, las muestras con mayor densidad presentaron un valor de actividad de agua más elevado, lo que se asocia a un menor porcentaje de harina 1 y mayor contenido de carbohidratos provenientes de las legumbres. Finalmente el parámetro CIELAB **b** mostró diferencia significativa asociándose a un mayor contenido de la harina 4, lo que genera una coloración más azul.

Tanto en sólidos solubles, como luminosidad y parámetro **a** (rojo-verde) no se presentó diferencia significativa entre las 4 muestras. Por otra parte, en el Cuadro 6.8 se muestran las pruebas fisicoquímicas para los bites de proteína, excluyendo dsb y densidad ya que son características de polvos.

*Cuadro 6.8. Parámetros fisicoquímicos de los suplementos para MPE listos para consumo.*

| <b>Muestra</b> | <b>516</b>          | <b>911</b>          | <b>787</b>          | <b>161</b>         |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| <b>%H</b>      | 48.73 <sup>a</sup>  | 48.30 <sup>ab</sup> | 46.82 <sup>b</sup>  | 47.12 <sup>b</sup> |
| <b>DE</b>      | 0.67                | 0.89                | 0.18                | 0.34               |
| <b>aw</b>      | 0.88 <sup>ab</sup>  | 0.87 <sup>b</sup>   | 0.91 <sup>a</sup>   | 0.91 <sup>a</sup>  |
| <b>DE</b>      | 0.01                | 0.02                | 0.01                | 0.00               |
| <b>L</b>       | 29.50 <sup>ab</sup> | 31.92 <sup>a</sup>  | 23.78 <sup>bc</sup> | 20.81 <sup>c</sup> |
| <b>DE</b>      | 2.44                | 2.69                | 3.57                | 0.09               |
| <b>a*</b>      | 8.55 <sup>b</sup>   | 7.46 <sup>b</sup>   | 5.49 <sup>a</sup>   | 8.57 <sup>b</sup>  |
| <b>DE</b>      | 1.99                | 1.16                | 0.41                | 0.63               |
| <b>b</b>       | 18.55               | 23.52               | 17.52               | 21.89              |
| <b>DE</b>      | 4.09                | 4.87                | 3.05                | 2.03               |

Las letras se refieren a DMSH (\*DMS) con  $\alpha=0.05$ , donde letras distintas representan diferencia significativa (Anexo 6).

Los resultados obtenidos muestran que se presentó diferencia significativa para el porcentaje de humedad, actividad de agua y luminosidad y color rojo-verde. Como se observa en el Cuadro, la humedad se dividió en dos grupos, donde la muestra 516 (conteniendo harina 3) presentó un porcentaje más alto, lo cual coincide con lo observado en el estudio de humedad en los polvos. En el caso del aw, se observa que existe una diferencia entre la muestras 787 y 161 con la muestra 911, siendo esta la que presenta un mayor contenido de la harina 1, la cual se caracterizó por presentar el menor valor en el estudio de las harinas individuales. En el caso de color la luminosidad se dividió en tres grupos, se puede observar que las muestras con mayor contenido de humedad presentaron tonos más claros, asociándose también al contenido de la harina 1 y 9, las cuales presentaron la mayor luminosidad en la prueba individual. El tono rojo fue inferior para la muestra 787, lo cual se relaciona a su mayor contenido de la harina 1 y los tonos verdes de 4 y 9. En el caso del parámetro **b** no se presentaron diferencias significativas entre las muestras.

#### 6.2.4.1 Perfil Flash

Al observar diferencia significativa en los parámetros fisicoquímicos, se estudiaron los atributos sensoriales mediante un estudio descriptivo rápido. (Perfil Flash). La Figura 11 muestra el Análisis de Componentes Principales (ACP) para los atributos de aspecto y textura para las cuatro formulaciones del suplemento. Para este PF se generaron 16 atributos (10 atributos de aspecto y 6 de textura) para finalmente elegir un total de 9 términos.

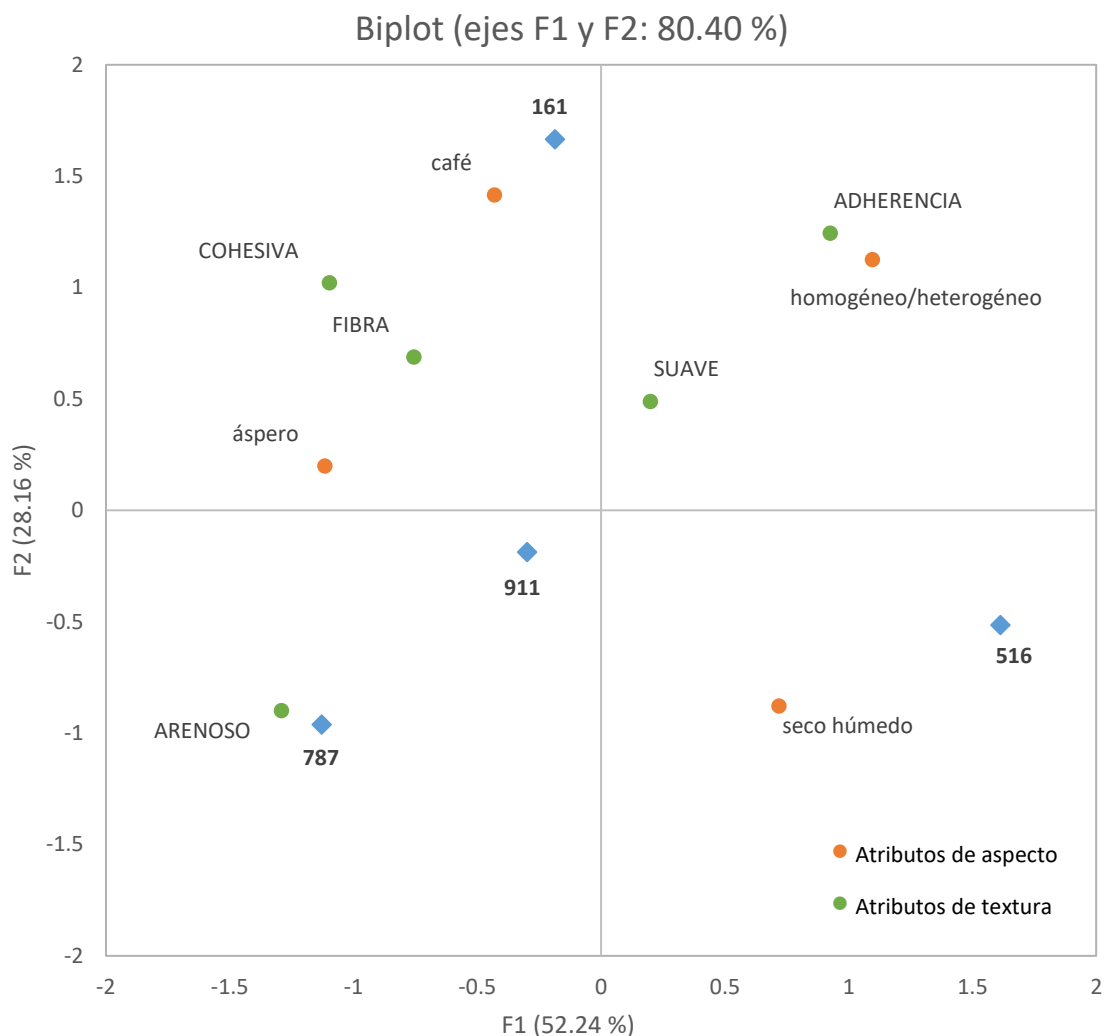


Figura 11. Espacio sensorial de atributos de aspecto (naranja) y textura (verde) de los suplementos MPE.

Como se puede observar en la Figura 11, el componente 1, que está dado principalmente por la homogeneidad, el aspecto áspero, la arenosidad y cohesividad explica el 52.24 % y el componente 2, dado principalmente por el color café el aspecto homogéneo/heterogéneo y la adherencia explica el 28.16 %, entre ambos explican el 80.40 % de la variabilidad de las muestras. Además, el aspecto y la textura de los bites es diferente, mientras las fórmulas 787



y 911 son más arenosas, la muestra 161 más cohesiva, café y con más fibra y aspecto áspero, la muestra 516 es menos seca, lo que concuerda con su porcentaje de humedad.

La Figura 12 muestra el ACP para los atributos de olor y sabor evaluados en los productos. Para este PF se generaron 20 términos (9 de olor y 11 de sabor) para finalmente seleccionar un total de 19 términos evaluados por los jueces.

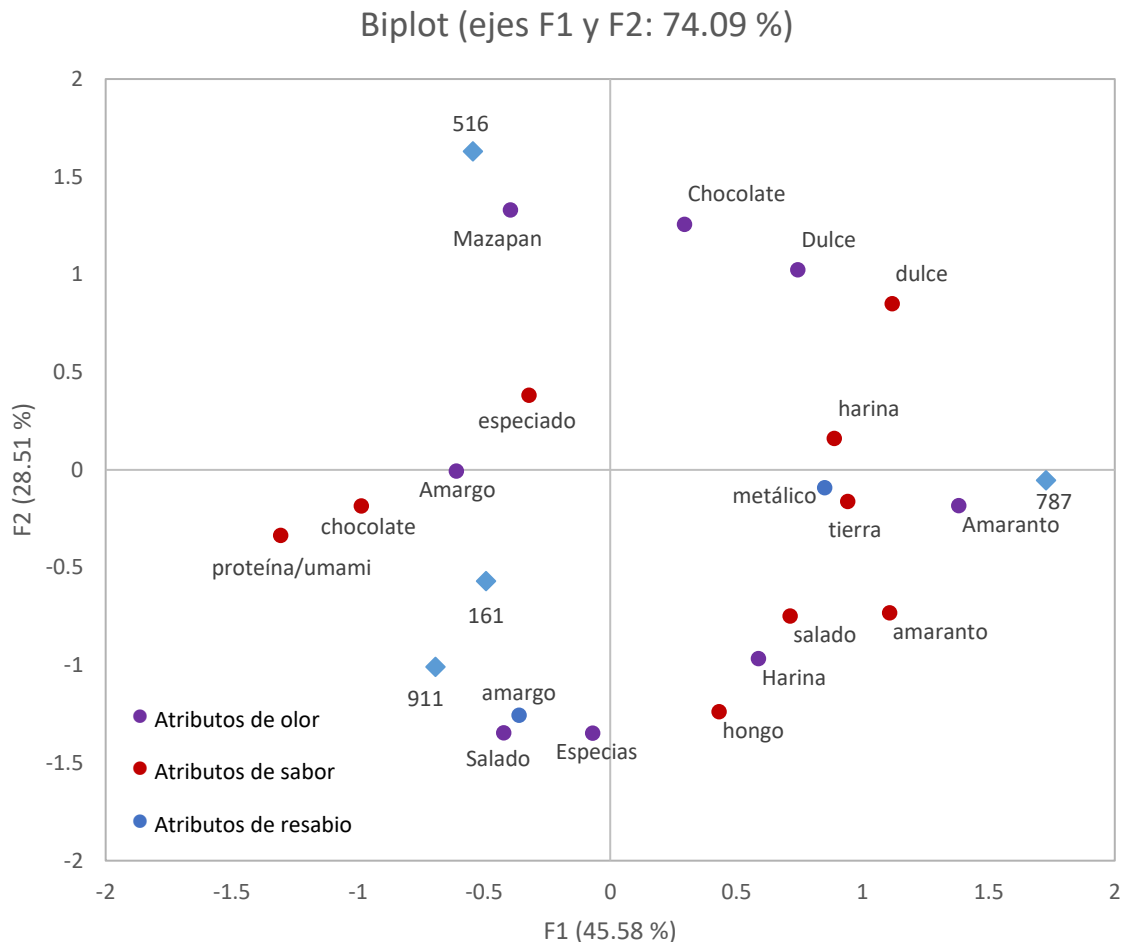


Figura 12. Espacio sensorial de atributos de olor (morado), resabio (azul) y sabor (rojo) de los suplementos para MPE.

De acuerdo con la Figura 12, el componente 1, conformado principalmente por el olor a amaranto, gusto dulce, sabor chocolate, amaranto y a proteína (gusto umami) explica el 45.48 % y el componente 2, conformado principalmente por el olor a chocolate, dulce, amargo y a harina, gusto salado, amargo, sabor especiado y a hongo el 28.51 %, entre ambos el 74.09 % de la variabilidad de las muestras. Además, el olor y sabor de las muestras es diferente, las fórmulas 911 y 161 (similares) se caracterizan por un mayor sabor a chocolate, proteína y gusto amargo además de un olor salado, amargo y especiado. La muestra 911 se caracteriza

por un mayor contenido de aminoácidos alifáticos (5.8 g/100 g muestra) y la muestra 161 por un alto contenido de ácido glutámico (5.12 g/100 g). Por otra parte, la muestra 516 se caracteriza por un sabor especiado así como olor amargo, proteína/umami y a mazapán lo que se puede asociar a que es más compleja por su mayor variedad de harinas, mientras que la fórmula 787, se caracteriza por un olor a harina y amaranto, así como sabor a tierra, amaranto, salado, hongo y gusto metálico lo que se asocia a un mayor contenido de la harina 9.

### 6.3 Análisis del proceso jerárquico

Este apartado describe los criterios de selección para el suplemento alimenticio más adecuado. Como se mencionó en el apartado 5.34 los criterios consisten en los siguientes aspectos: Aspecto Sensorial, de Estabilidad, Viabilidad técnica y de proceso y Aspecto nutricional.

#### 6.3.1 Criterio de estabilidad

Otro aspecto fundamental en la selección de un suplemento alimenticio es la estabilidad del producto, donde la homogeneidad y su capacidad para mantener sus propiedades a lo largo de su vida de anaquel es un factor esencial de su calidad. Dicho estudio debe basarse en las características particulares del producto terminado (ASEAN, 2006). En el caso de las fórmulas del suplemento, la sinéresis es un parámetro importante para medir su estabilidad, ya que es la forma en que se estudia el colapso y coherencia del sistema, lo cual se relaciona con las propiedades funcionales de las proteínas (Narsimhan y Xiang, 2018). En el Cuadro 6.7, se observan los resultados de sinéresis, donde ninguna de las muestras presentó esta característica. Por lo tanto este parámetro se satisface.

La textura es uno de los parámetros principales para estudiar el grado de estabilidad de la estructura, lo que se relaciona con el contenido de humedad y actividad de agua, para finalmente impactar en la calidad del producto (Williams, Sadar, y Martin Lo, 2009). Mientras que la dureza del producto se relaciona con la fuerza del gel durante la compresión, lo que se puede relacionar con el entrecruzamiento y la formación de redes. La cohesividad, por otra parte indica la dificultad de quebrantar la estructura interna del gel, lo que es indicativo de una muestra menos elástica (Sanderson, 1990). La dureza y cohesividad se relacionan entre sí mediante la gomosidad. Además, entre mayor cohesividad se observe en el gel, se requerirá mayor energía para romper la estructura remanente en el segundo ciclo, lo que impacta en la masticabilidad del producto (Lau, Tang, y Paulson, 2000).

El Análisis de Perfil de Textura mostró diferencia significativa en adhesividad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad, lo que coincide con lo observado por el panel del Perfil Flash. El Cuadro 6.9, muestra los resultados obtenidos para los bites de proteína, cabe mencionar

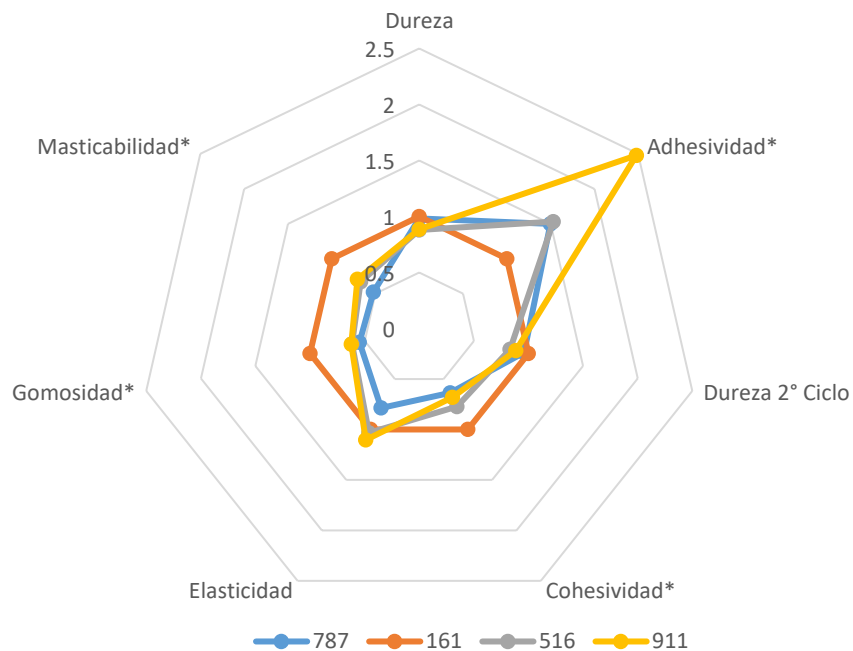
que las muestras no presentaron fracturabilidad, por lo que este parámetro no se contempla para el perfil de Textura.

*Cuadro 6. 9 Análisis de Perfil de Textura del suplemento para MPE.*

| <b>Parámetro</b>           | <b>516</b>         | <b>911</b>         | <b>787</b>         | <b>161</b>        |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Dureza (N)</b>          | 3.95               | 3.98               | 4.41               | 4.49              |
| <b>DE</b>                  | 0.70               | 0.37               | 0.97               | 0.32              |
| <b>Adhesividad (mJ)</b>    | 3.17 <sup>ab</sup> | 5.13 <sup>a</sup>  | 3.10 <sup>ab</sup> | 2.07 <sup>b</sup> |
| <b>DE</b>                  | 1.15               | 1.35               | 1.01               | 0.41              |
| <b>Dureza 2° Ciclo (N)</b> | 3.35               | 3.57               | 3.87               | 4.04              |
| <b>DE</b>                  | 0.70               | 0.45               | 0.76               | 0.31              |
| <b>Cohesividad</b>         | 0.17 <sup>b</sup>  | 0.15 <sup>b</sup>  | 0.14 <sup>b</sup>  | 0.22 <sup>a</sup> |
| <b>DE</b>                  | 0.03               | 0.03               | 0.03               | 0.02              |
| <b>Elasticidad (mm)</b>    | 2.81               | 3.00               | 2.14               | 2.72              |
| <b>DE</b>                  | 0.79               | 0.55               | 0.74               | 0.14              |
| <b>Gomosidad (N)</b>       | 0.62 <sup>ab</sup> | 0.62 <sup>ab</sup> | 0.55 <sup>b</sup>  | 1.00 <sup>a</sup> |
| <b>DE</b>                  | 0.19               | 0.20               | 0.10               | 0.25              |
| <b>Masticabilidad (mJ)</b> | 1.83 <sup>b</sup>  | 1.93 <sup>a</sup>  | 1.43 <sup>b</sup>  | 2.73 <sup>a</sup> |
| <b>DE</b>                  | 0.32               | 0.15               | 0.57               | 0.52              |

Las letras corresponden a DMSH con  $\alpha=0.05$ , donde letras distintas representan diferencia significativa (Anexo 7).

Como se puede observar, la muestra con mayor adhesividad fue la 911, lo que se puede asociar a un mayor contenido de sólidos solubles, a pesar de no presentar diferencia significativa con las demás muestras, presentó una mayor tendencia. Sin embargo, la cohesividad y masticabilidad de la muestra son parámetros más relevantes para estudiar la estabilidad de la muestra ya que se asocia a la formación de un mejor bolo alimenticio (Young et al., 2016). En la Figura 13, se muestra una gráfica de araña de los parámetros de textura, para ello se realizó un ajuste relativo para la muestra que presentó los valores de cohesividad más elevados, la cual corresponde al producto 161.



*Figura 13. Gráfica de araña para el perfil de textura relativo de los suplementos para MPE. El asterisco (\*) representa aquellos parámetros que presentaron diferencia significativa.*

Como se puede observar diferencias superiores a 0.5 indican una diferencia significativa para gomosisidad, cohesividad y masticabilidad. Dado que la cohesividad integra la fuerza de compresión a través del área bajo la curva entre ambas mordidas y la gomosisidad corresponde a la relación entre dureza y cohesividad y la masticabilidad a la relación entre elasticidad y gomosisidad, este fue el parámetro se seleccionó como indicador para el criterio de estabilidad, pues engloba todos los aspectos del perfil de textura y se relaciona con la estabilidad de la estructura durante la deglución.

### 6.3.2 Criterio del proceso

La viabilidad técnica y el proceso, también resultan de suma importancia para la selección de la propuesta del suplemento alimenticio, pues éste es determinante para la competitividad de un producto (Kim, Park, y Sawng, 2016). Cabe mencionar que aunque no existe un consenso en el término de viabilidad técnica, ésta se puede enfocar en 5 ejes: económico, técnico, operacional, legal y planificación, donde el estudio técnico se refiere a que el producto o servicio puede funcionar de la manera deseada (Bause et al., 2014). Este estudio se enfoca en establecer qué mezcla de harinas resulta mejor opción de producción, para ello, se compararon: el tiempo de secado, el tiempo de producción y el rendimiento asociado con los porcentajes de cada materia prima.

El proceso de obtención de MP es diferente para cada tipo de harina, donde para la harina 1 es necesario un secado previo; mientras que para las harinas 3, 4 y 9 es necesario un remojo previo y un proceso de secado. Finalmente, para la harina 2, el proceso consiste en una molienda a partir del grano de cereal listo para consumo. En las Figuras 14 y 15, se detallan los procesos de obtención de cada harina.

### 6.3.2.1 Diagramas de bloques para el proceso de obtención de harinas

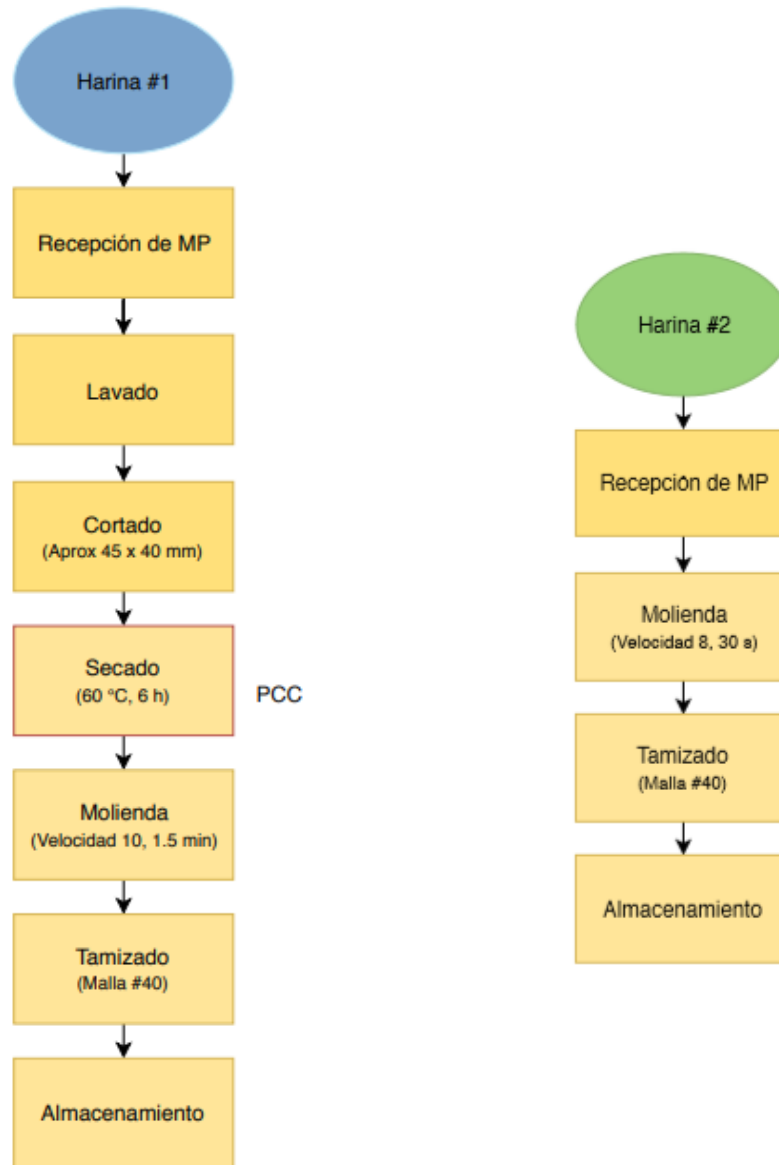


Figura 14. Diagrama a bloques para la obtención de las harinas 01 y 02.

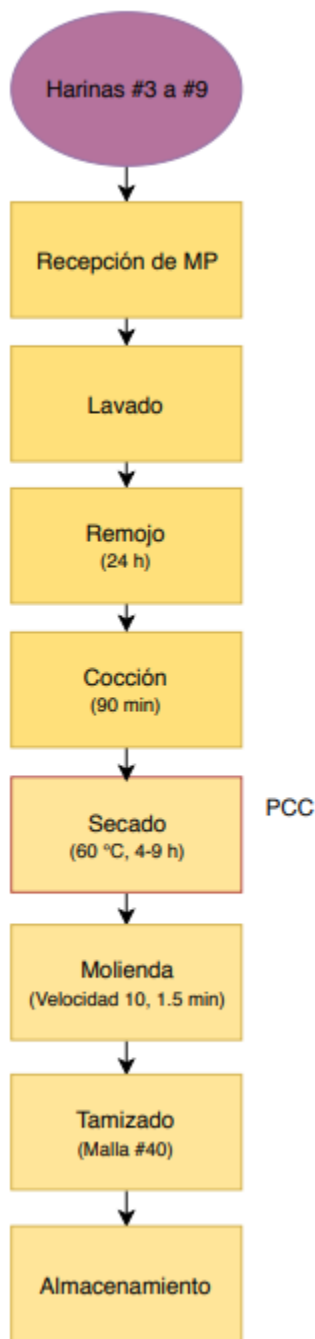


Figura 15. Diagrama a bloques para la obtención de las harinas 03, 04 y 09.

Como se puede observar el proceso menos complejo, (refiriéndose a operaciones unitarias) corresponde a la obtención de harinas de cereales, seguido de harina de hongo y finalmente harina de legumbres. Debido a que éstas presentan agentes anti nutrimentales (inhibidores de proteasas), lo que implica que es necesario desactivar estos componentes mediante un remojo y cocción para mejorar la digestión y absorción de las proteínas (Avilés-Gaxiola, Chuck-

Hernández, y Serna Saldívar, 2018). El método más común consiste en un tratamiento térmico; sin embargo, este puede ocasionar la pérdida de aminoácidos azufrados, lisina y vitaminas termolábiles, por lo que es importante establecer una relación adecuada de tiempo/temperatura en este proceso.

### 6.3.2.2 Curvas de secado y molienda de harinas de hongos y leguminosas.

La Figura 16 muestra la primera curva de secado para las harinas 1, 3, 4 y 9 correspondiente a la pérdida de humedad con el tiempo, donde es posible distinguir las 4 regiones de secado (Heldman y Lund, 2006). Se puede observar que existen diferencias entre las muestras; por ejemplo, las harinas 1 y 3 presentan una curva con una pendiente elevada, lo que implica una mayor velocidad a lo largo de los periodos de velocidad constante y decreciente lo que implica que tienen una mayor difusividad efectiva. La harina 4 presentó tiempos de secado similares a pesar de presentar menor difusividad efectiva debido a que ésta parte de una menor relación de kg agua por kg sólidos. A su vez, la harina 9 presentó el tiempo de secado más prolongado debido a su forma, la cual es una barrera para el calor (Chen, 2005). Por otra parte, el periodo de calentamiento para las harinas 1 y 3 es mucho menor en comparación a las harinas 4 y 9.

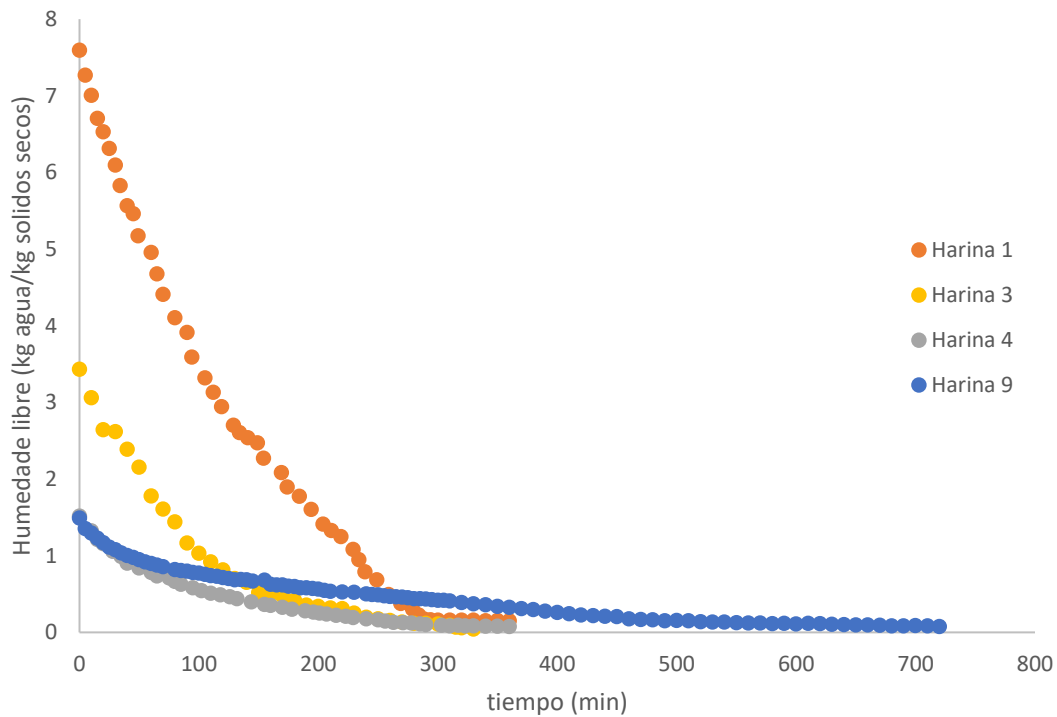


Figura 16. Primera curva de secado para las harinas de hongo y leguminosas.

Para obtener el tiempo total de secado del producto se realizó la segunda curva de secado con el fin de observar el cambio de la velocidad de secado respecto a la humedad libre. Como se muestra en la Figura 17, el periodo de velocidad constante presenta un contenido de humedad

crítica diferente para cada fuente. La región de velocidad constante más amplia es indicativa de una mayor proporción de agua no ligada durante el procesamiento, por lo que la velocidad de secado es máxima y la actividad de agua en la superficie del producto corresponde a 1.0 hasta alcanzar el primer periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie se seca completamente en el segundo periodo de velocidad decreciente.

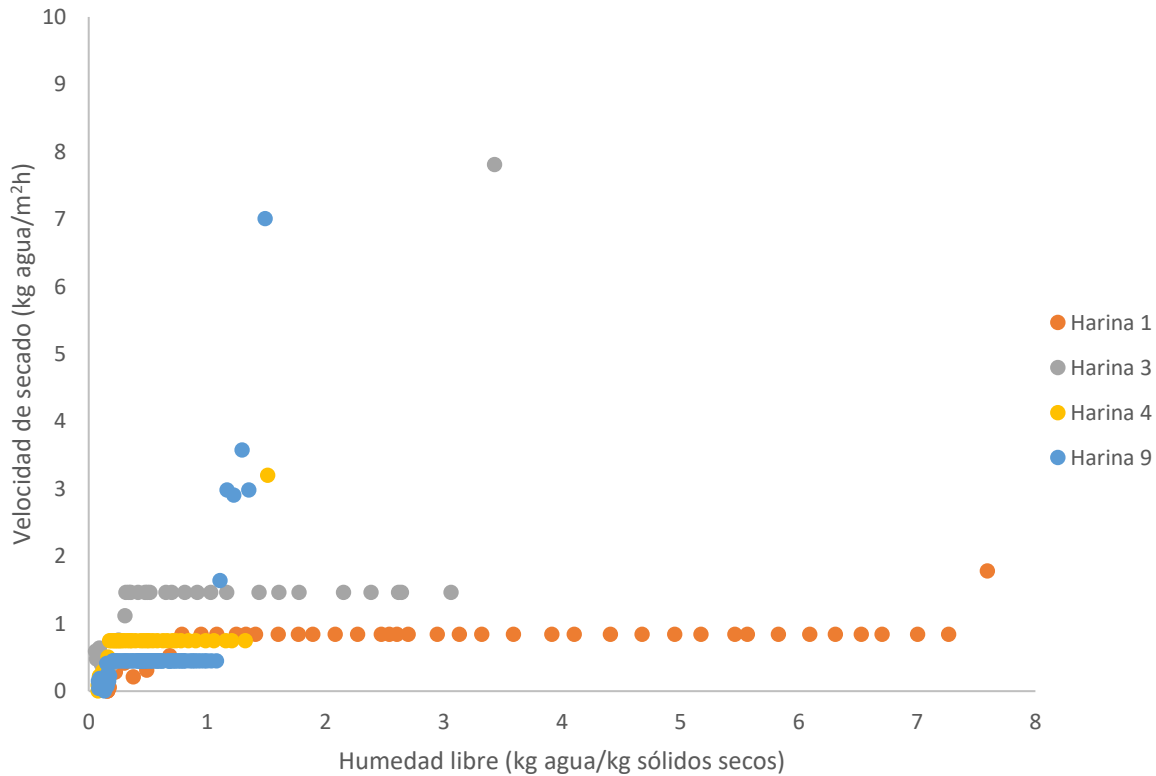


Figura 17. Segunda curva de secado para las harinas de hongo y leguminosas.

Como se puede observar el mayor periodo de velocidad constante corresponde a la harina 1, la longitud de este periodo se asocia inversamente con la actividad de agua, donde el menor contenido corresponde a la harina 1 y el mayor a la harina 9. La velocidad máxima de secado corresponde a la harina 3, lo cual se puede asociar a su menor tamaño y forma plana, lo que aumenta la superficie de contacto entre el aire caliente y el alimento por lo que permite una mejor eliminación de agua. Las harinas 1 y 4 presentaron una velocidad de secado similar, mientras que los valores de humedad crítica son parecidos para las harinas 4 y 9 y superior para la harina 3 y finalmente la harina 1. A mayor diferencia entre la humedad crítica y la humedad de equilibrio, se espera un mayor tiempo en el primer periodo de velocidad decreciente. Con la segunda curva de secado es más notorio el periodo de calentamiento observado en la harina 9. Cabe mencionar también que la humedad inicial de la harina 1 fue superior que la humedad observada en las demás harinas, por lo que se espera un tiempo



adicional de secado, en comparación a la humedad de las harinas de leguminosas, que tuvieron remojo y cocción como operaciones previas.

En el Cuadro 6.10, se presentan los valores de tiempo de calentamiento, difusividad efectiva, velocidad de secado en el periodo constante, humedad crítica, humedad al equilibrio, intervalo de humedad libre, relación sólidos secos/área, tiempo final de secado y rendimiento del producto.

*Cuadro 6. 10 Parámetros de secado obtenidos con la primera y segunda curva de secado.*

|   | <b>01</b>             | <b>03</b>             | <b>04</b>             | <b>09</b>              |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Tiempo de calentamiento<br/>(min Región AB)</b>                              | 5                     | 10                    | 10                    | 45                     |
| <b>Difusividad efectiva<br/>(m<sup>2</sup>/s)</b>                               | 4.44x10 <sup>-8</sup> | 6.34x10 <sup>-8</sup> | 3.57x10 <sup>-9</sup> | 1.82 x10 <sup>-9</sup> |
| <b>Velocidad de secado<br/>(kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup> h Región BC)</b>    | 0.8434                | 1.4654                | 0.7455                | 0.4473                 |
| <b>Humedad crítica<br/>(kg H<sub>2</sub>O/kg ss)</b>                            | 0.7876                | 0.3162                | 0.1631                | 0.2032                 |
| <b>Humedad al equilibrio<br/>(kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>ss</sub>)</b>             | 0.1687                | 0.0567                | 0.0938                | 0.1026                 |
| <b>Intervalo Humedad libre<br/>(kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>ss</sub> Región BC)</b> | 6.4804                | 2.744                 | 1.1613                | 0.7376                 |
| <b>Relación Sólidos<br/>Secos/Área (kg<sub>ss</sub>/m<sup>2</sup>)</b>          | 0.4549                | 1.654                 | 2.811                 | 4.2684                 |
| <b>Tiempo final de secado<br/>(horas)</b>                                       | 4.15                  | 3.58                  | 4.75                  | 8.5                    |
| <b>Rendimiento de proceso<br/>(kg<sub>ss</sub>/100 kg<sub>st</sub>)</b>         | 9.55                  | 57.87                 | 74.66                 | 94.16                  |

El tiempo de calentamiento para la legumbre 09 fue superior debido a su forma, a su vez, ésta presentó uno de los valores de rendimiento más alto. Tanto en la harina 1 como la 3, se observa un porcentaje similar de difusividad efectiva, lo cual se puede asociar a una mayor velocidad de secado, lo que se traduce también en un menor tiempo de secado (Tütüncü y Labuza, 1996). Como se mencionó anteriormente, la humedad crítica se puede relacionar con la actividad de agua reportada anteriormente, lo que corresponde a aquella donde el agua que

está en la superficie es insuficiente para el área del sólido. La humedad al equilibrio también presentó valores diferentes y se relaciona con la humedad final reportada; sin embargo este parámetro sólo presentó diferencia significativa entre la harina 1 y las harinas de leguminosas.

Tanto la relación de sólidos secos y superficie como el intervalo de humedad libre son parámetros determinantes para el tiempo final de secado. Por ejemplo, la harina 9 presenta una mayor relación de sólidos y un menor intervalo de humedad libre en el periodo de velocidad constante, por lo tanto presenta el mayor tiempo de proceso. Se ha reportado que el contenido de lípidos también afecta las propiedades de transferencia de energía de las harinas; no obstante bajo estas condiciones no actúan como factor de respuesta, lo cual también se puede deber al bajo contenido lipídico de las muestras. Por otra parte, los tiempos se muestran en concordancia con lo observado para legumbres en sistemas de conducción con resistencias eléctricas (Velázquez, 2019), mientras que un proceso de secado de hongos marca tiempos aproximados de 5 h (Apati, Furlan, y Laurindo, 2010).

Por otra parte, uno de los parámetros más importantes para la viabilidad del proceso corresponde al rendimiento másico de las harinas, debido a que éste influye en la producción. Se observa que la harina 1 presenta el menor rendimiento, ya que parte de valores de humedad más elevados, mientras que la harina 9 presenta el mayor rendimiento a pesar de presentar la menor velocidad de secado.

Otra de las métricas importantes para el estudio del proceso es la molienda, donde el porcentaje de retención en la malla es necesario para establecer el rendimiento del mismo. En el Cuadro 6.11, se muestran los resultados de harina retenida, pérdida por proceso y rendimiento neto de las harinas.

*Cuadro 6. 11. Porcentajes de rendimiento para la molienda de las harinas para suplemento.*

| %                              | 01    | 02    | 03    | 04    | 09    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Pérdida por proceso</b>     | 3.31  | 1.72  | 12.98 | 9.00  | 10.76 |
| <b>Sólidos retenidos</b>       | 12.29 | 40.11 | 16.90 | 17.34 | 30.81 |
| <b>Rendimiento molienda</b>    | 84.40 | 58.17 | 70.12 | 73.66 | 58.42 |
| <b>Rendimiento de secado</b>   | 9.55  | N/A   | 57.87 | 74.66 | 94.16 |
| <b>Rendimiento secado neto</b> | 8.06  | 58.17 | 40.57 | 54.99 | 55.00 |

Como se puede observar en el Cuadro, cada muestra presenta un porcentaje de sólidos retenidos diferente, entre mayor sea la densidad del producto, la pérdida por producto

también será mayor como en el caso de la harina 03 y el caso contrario con las harinas 01 y 02 que presentaron la menor densidad. Así también, a menor actividad de agua, en lo general se observa un mayor rendimiento de molienda, asociándose a un menor contenido de agua libre, lo que facilita este proceso mecánico. El rendimiento de secado neto corresponde a la cantidad de harina malla 40 obtenida con 100 g de materia prima sin procesar. Debido a que la harina 02 no presenta un tratamiento térmico, presenta el mayor rendimiento, mientras que la harina 01 presenta el rendimiento más bajo asociado con una cantidad inicial de agua superior al 90 %. En el caso de las legumbres, la cantidad de agua al final del secado resulta muy similar a la de la materia previo al remojo y cocción; por lo que su pérdida de masa principal ocurre durante la molienda, en especial para la harina 04.

### 6.3.2.3 Métricas del proceso

La viabilidad técnica, eficiencia del secado y el rendimiento neto para cada suplemento se muestran en el Cuadro 6.11. Para la viabilidad técnica se considera la complejidad a través de las operaciones unitarias, donde es deseable una menor cantidad para un producto óptimo. El impacto de éste parámetro se verá principalmente afectado por la cantidad de harinas dentro de cada producto, aquellas con mayor variedad se verán más afectas por este parámetro, a pesar de la relativamente poca cantidad de éstas, tal como la muestra 161.

Para la eficiencia de secado y el rendimiento neto, se considera la proporción de cada harina con el fin de establecer estos valores para cada suplemento. El tiempo de secado fue determinante debido a que es el cuello de botella ya que presenta el tiempo de proceso mayor para cada una de las harinas, por lo que un proceso óptimo será aquel con productos que impliquen un menor tiempo de secado.

*Cuadro 6. 12. Métricas del proceso para elaborar 100 g de suplementos alimenticios.*

| <b>Muestra</b>                   | <b>516</b> | <b>911</b> | <b>787</b> | <b>161</b> |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Viabilidad técnica</b>        | 31         | 23         | 23         | 27         |
| <b>Eficiencia del secado (h)</b> | 4.97       | 5.58       | 4.42       | 4.84       |
| <b>Rendimiento neto (%)</b>      | 21.04      | 19.67      | 17.94      | 21.25      |

A pesar de que los suplementos presentaron porcentajes similares de la harina 01, se observan diferencias entre cada una de las propuestas observadas para estos parámetros. Además, se puede observar que aquellas harinas con mejor rendimiento neto presentaron la mayor complejidad de procesos y que el proceso con la mejor eficiencia de secado presentó el menor rendimiento neto, de tal manera que la definición del suplemento con el proceso más viable se basa en el AHP.

### 6.3.3 Criterio sensorial

De acuerdo con estudios de estrategia de mercado, el producto es el detonante para el éxito del mismo a largo plazo. Por ello la evaluación sensorial, resulta una de las herramientas fundamentales en el entendimiento del consumidor, así como para identificar los diferenciadores de un producto y optimizar los esfuerzos del desarrollo de nuevos productos (Iannario et al., 2012). Por ejemplo, la experiencia hedónica de consumo puede potenciarse por factores sociales o mayor conocimiento del valor nutrimental de un producto o por su origen (Andersen y Hyldig, 2015). En el caso de suplementos alimenticios, al ser prescritos diariamente se observa un cumplimiento deficiente debido al nivel de agrado en sabor y dulzura (Allen, Methven, y Gosney, 2013; Kennedy et al., 2010), lo que ocasiona un problema para alcanzar el volumen de consumo necesario para lograr el beneficio clínico deseado relacionado a su adherencia en la dieta (Fearon, Arends, y Baracos, 2013). Por ello, se decidió que el criterio sensorial mostrara el mayor porcentaje del AHP (40 %). Para dicho estudio, se llevaron a cabo las pruebas afectivas de nivel de agrado, ordenamiento por preferencia y mapa de preferencia externo, correspondientes a las 4 formulaciones.

#### 6.3.3.1 Hábitos de consumo

En la Figura 18, se muestran los hábitos de consumo para la población de estudio, el porcentaje de familiaridad de los bites de proteína corresponde a la quinta parte de los consumidores (21 %), donde alrededor de 65 % de este grupo declara no ser consumidor frecuente, por lo que es posible relacionar la neofobia a la mayoría de las respuestas obtenidas en las pruebas afectivas. A su vez, se puede asociar una mayor familiaridad de estos productos a la población femenina.

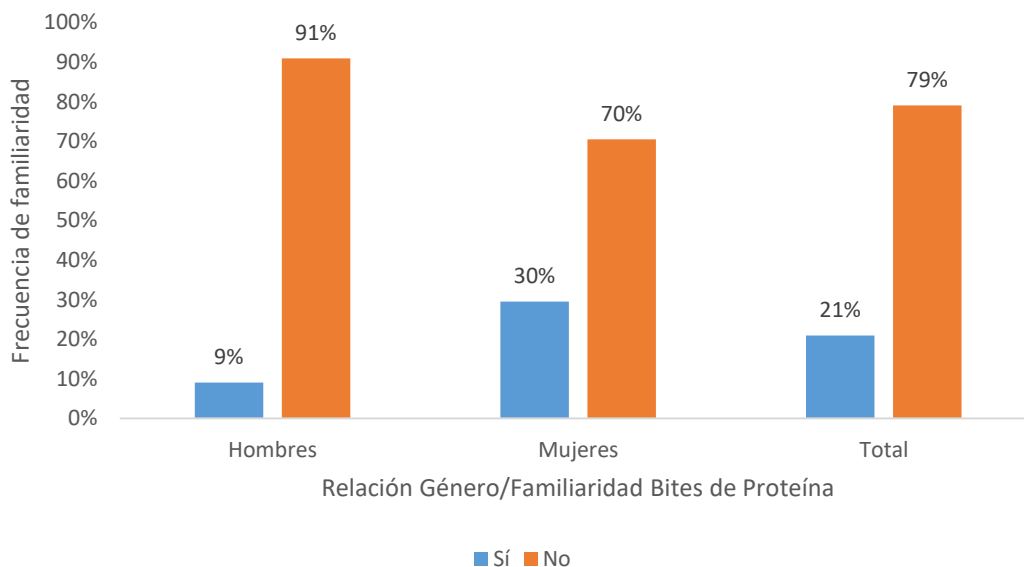


Figura 18. Porcentaje de consumidores que han probado bites de proteína.

Posteriormente se preguntó la fuente principal de proteína en la dieta de los consumidores, por lo que se realizó una clasificación en 3 grupos: Animal, Mixta y Vegana. La Figura 19, muestra que la mayoría de la población tiene una dieta con predominancia en proteína animal, siendo un porcentaje mayor en hombres; además, solamente 11 % de las mujeres mantienen una dieta predominante en proteína no animal, es decir, no se presentaron hombres veganos. Para las dietas ricas en proteína animal y las dietas mixtas el mayor porcentaje de consumo se asocia con Cárnicos (80 %) seguido de huevo (62 %) y leche (59 %). En el caso de las dietas veganas, la fuente principal de proteína corresponde a cereales (49.5 %), seguidos de legumbres (39 %), hongos (10.5 %) y otros productos (3.8 %) tales como espirulina.

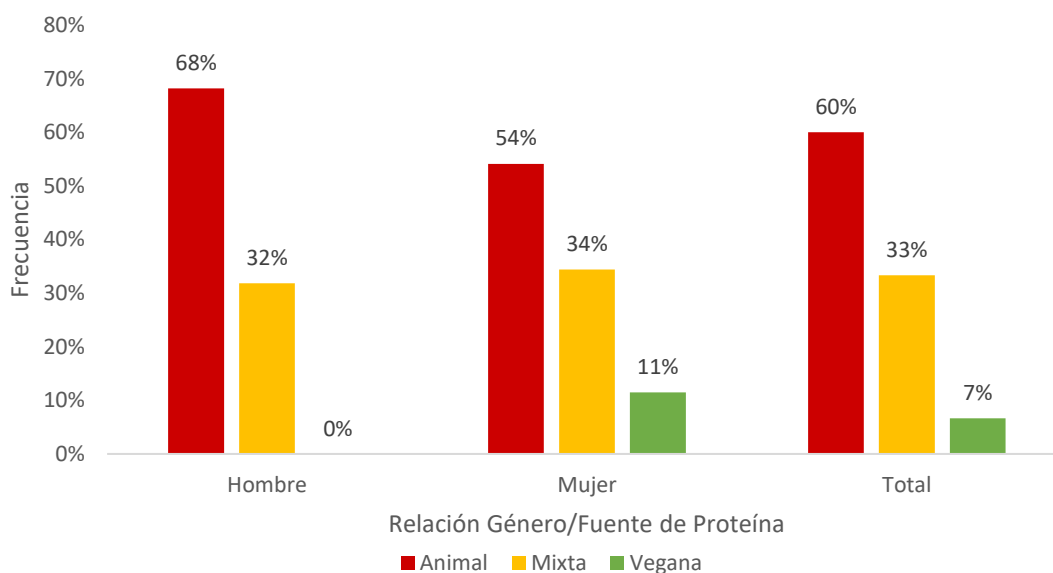


Figura 19. Porcentajes de las fuentes principales de proteína en la dieta por género.

En la Figura 20 se muestra la relación de la percepción positiva de la fuente de proteína según el tipo de dieta de los consumidores. Se puede observar que la dieta vegana tiene el mayor porcentaje de conformidad, seguido de la dieta mixta. A pesar de ello, la mezcla de proteínas de diferentes orígenes presenta un mayor porcentaje de percepción positiva para todos los consumidores, seguido de la proteína animal, que es reconocida por su alto valor biológico y biodisponibilidad. Sin embargo, los consumidores adheridos a esta fuente de proteína señalan una mejor percepción de una dieta que combine más grupos de alimentos. A su vez, la tercera parte de los consumidores adheridos a una dieta vegana consideran más positiva una dieta con productos de origen animal, lo cual coincide con el porcentaje de consumidores que presentan una dieta mixta. Las fuentes con una percepción más positiva resultaron en Productos Cárnicos (69.5 %), Legumbres (67.6 %) y Huevo (60 %) a pesar de que el consumo de legumbres concentra solamente el 39 % de fuente principal de proteína.

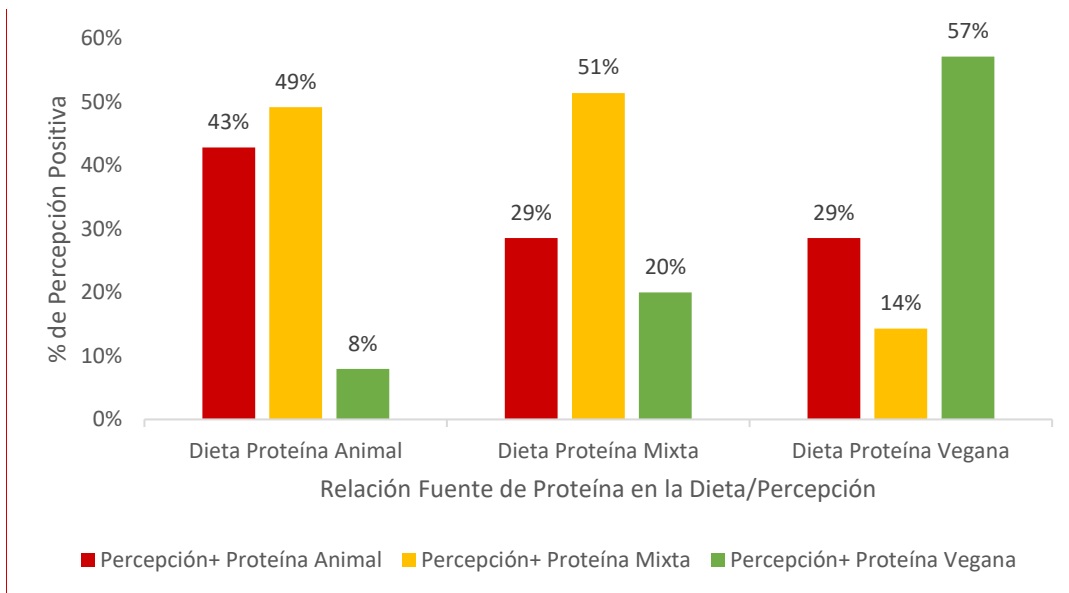


Figura 20. Percepción positiva de fuentes de proteína clasificada por la dieta de los consumidores.

La falta de concordancia entre la percepción de alimentos saludables y su consumo ha sido abordada por estudios con adolescentes y jóvenes en México, donde se observa que ésta puede ser premeditada, es decir el consumidor no se nutre de acuerdo con la pirámide nutrimental o el plato del buen comer a pesar de conocerlo debido a su estilo de vida (Alvarado Lagunas y Luyando Cuevas, 2014).

Finalmente, la Figura 21, muestra aquellos productos de origen no animal reconocidos por su origen y calidad proteínica que resultan familiares a los consumidores.

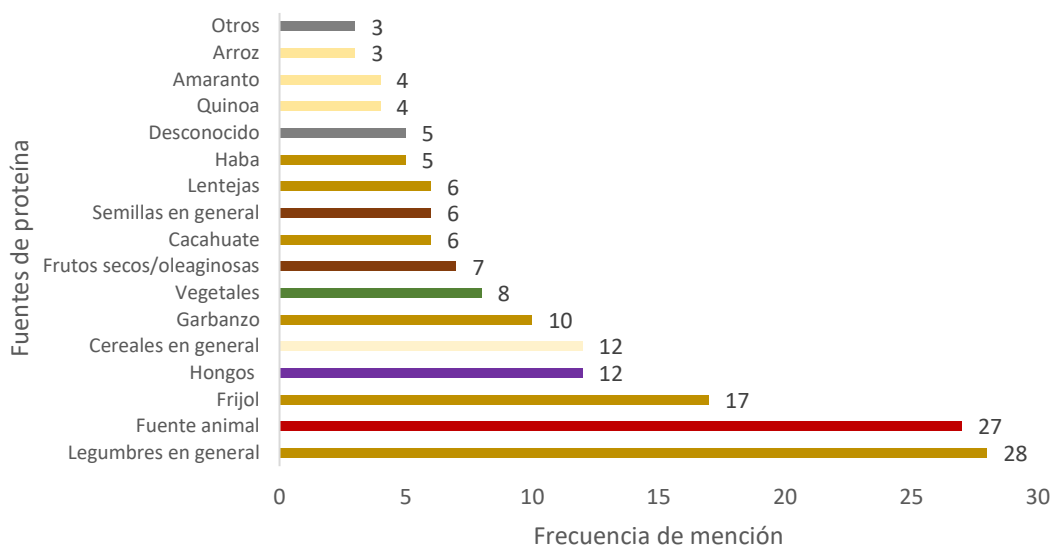


Figura 21. Familiaridad con fuentes de proteína de origen no animal.

Como se puede observar, existe una diversificación en las alternativas de proteína animal, siendo las legumbres las fuentes más conocidas; entre ellas específicamente el frijol, seguida del garbanzo, cacahuete, lenteja y haba. Además los hongos presentan un porcentaje de familiaridad similar a los cereales, considerablemente bajo, por lo que no son fuentes reconocidas de proteína para los consumidores. También, se presentó una alta familiaridad con productos de origen animal, a pesar de solicitar que no se mencionaran, se obtuvieron 27 menciones, entre ellas pescado e insectos que podrían desasociarse de la percepción de proteína animal por parte de los consumidores.

### 6.3.3.2 Prueba de ordenamiento de Friedman

Para la prueba de Friedman se solicitó que los consumidores ordenaran las cuatro muestras de acuerdo con su preferencia en general. En el Cuadro 6.13 se resumen los resultados obtenidos por los consumidores.

*Cuadro 6. 13. Frecuencia de ordenamiento de las muestras evaluadas.*

| <b>Muestra</b>      | <b>516</b>        | <b>911</b>        | <b>787</b>        | <b>161</b>        |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>1</b>            | 19                | 29                | 18                | 34                |
| <b>2</b>            | 24                | 20                | 31                | 25                |
| <b>3</b>            | 24                | 24                | 26                | 26                |
| <b>4</b>            | 33                | 27                | 25                | 15                |
| <b>Media Rangos</b> | 2.78 <sup>b</sup> | 2.55 <sup>b</sup> | 2.59 <sup>b</sup> | 2.07 <sup>a</sup> |

Las letras corresponden a la prueba de Friedman  $p < 0.05$ , donde letras distintas representan diferencia significativa (Anexo 8).

De acuerdo con el valor-p existe diferencia significativa entre las muestras, de tal manera que se forman dos grupos, donde el producto 161 fue el más preferido por los consumidores, mientras que el segundo grupo engloba las demás muestras. Para estudiar a detalle y cuantificar la diferencia en la percepción sensorial de los productos en un intervalo con el fin de establecer qué tanto es preferido se realizó una prueba de nivel de agrado considerando el sabor, textura, resabio y nivel de agrado en general.

### 6.3.3.3 Nivel de agrado

Debido a que una prueba estadística inicial no presentó diferencia significativa en todos los atributos, se consideró separar a los consumidores por la fuente principal de proteína en su dieta con un modelo de dos factores con interacción, para determinar si el tipo de dieta influía en su evaluación. Al aplicar el modelo, se observaron diferencias significativas entre las muestras para sabor como efecto principal y para textura y agrado en general significancia en su interacción.

El Cuadro 6.14 resume la media estimada del nivel de agrado de los productos estudiados, (aquella asociada con el efecto principal de las mezclas de suplementos), se puede observar

que las muestras se ubicaron entre los puntos “3” y “4” de la escala de 7 puntos, lo que corresponde a valores entre “me disgusta un poco” y “ni me gusta ni me disgusta”.

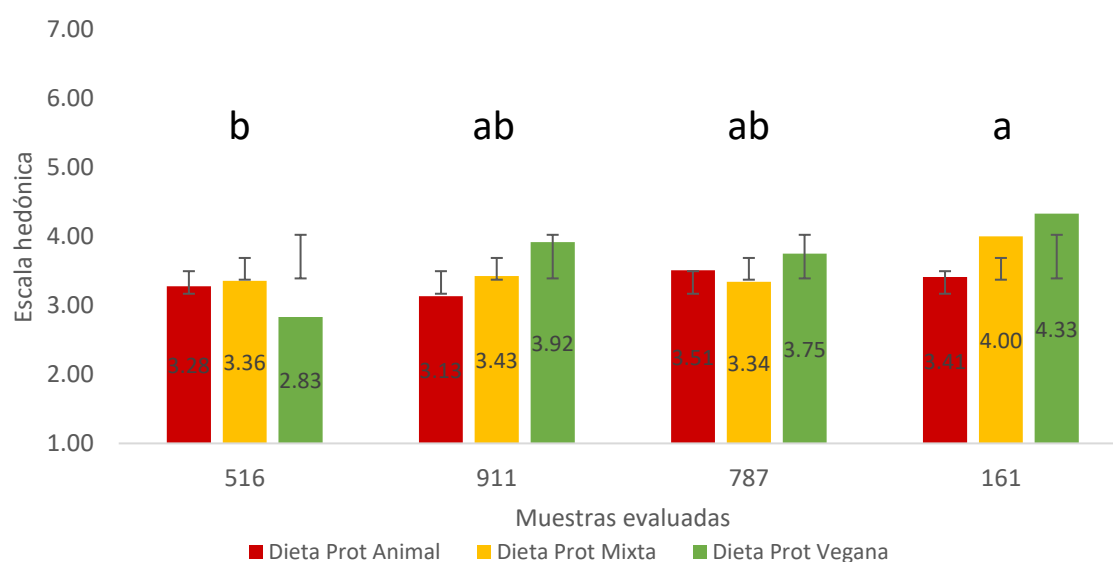
*Cuadro 6. 14. Media estimada del nivel de agrado de las muestras evaluadas.*

| Muestra    | 516               | 911                | 787                | 161               |
|------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Sabor      | 3.31 <sup>b</sup> | 3.56 <sup>ab</sup> | 3.71 <sup>ab</sup> | 4.17 <sup>a</sup> |
| Textura    | 3.59              | 3.56               | 3.91               | 3.87              |
| Resabio    | 3.43              | 3.66               | 3.57               | 3.58              |
| En general | 3.43              | 3.66               | 3.57               | 3.58              |

Las letras corresponden a DMSH con  $\alpha=0.05$ , donde letras distintas representan diferencia significativa (Anexo 9).

Se puede observar que el sabor de la muestra 161 muestra un mayor nivel de agrado (ni me gusta ni me disgusta) que la muestra 516, lo cual se puede asociar a un mayor sabor a chocolate y a proteína/umami. Esto también refuerza que la muestra 161 sea la más preferida en la prueba de Friedman, lo cual puede asociarse fuertemente a su sabor, dado que es el atributo que más impacta en la decisión (Andersen, Brockhoff, y Hyldig, 2019). A pesar de ello, el sabor resultó similar para la comparación de las demás combinaciones y la diferencia en el agrado en general no es significativa para la escala hedónica.

La Figura 22 muestra los efectos de la fuente principal de proteína y las muestras evaluadas, para la evaluación de sabor. Como se indicó anteriormente, en este atributo se presentaron diferencias significativas para el tipo de dieta y las muestras del suplemento.



*Figura 22. Comparación de nivel de agrado en sabor de las muestras.*



Como se observa en la Figura, la muestra 161 presenta un promedio mayor al observado en la muestra 516, es por ello que presentan letras diferentes en la figura. Debido a la desviación en las evaluaciones que los consumidores de todos los grupos de dietas, no se presenta diferencia significativa en las interacciones pero sí en el tipo de dieta. Es decir, los consumidores con dieta vegana evaluaron de forma más positiva los productos que aquellos consumidores con dieta mixta y rica en proteína animal, lo que se puede relacionar con su frecuencia de consumo y familiaridad con la materia prima.

En la Figura 23 se observan los resultados de textura obtenidos considerando la fuente principal de proteína y las muestras evaluadas, para la evaluación de sabor, para ambos efectos y su interacción no se presentó diferencia significativa en estos componentes.

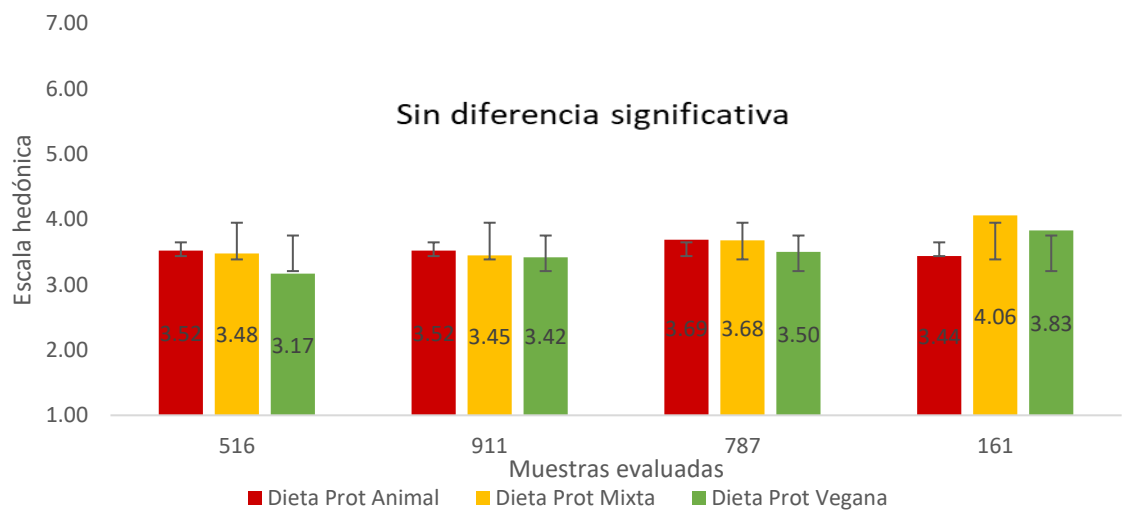


Figura 23. Comparación del nivel de agrado de la textura de las muestras.

A pesar de las diferencias detectadas en el panel del PF y en el análisis de perfil de Textura, donde la adhesividad, cohesividad, gomosidad y masticabilidad fueron diferentes, las muestras no presentan diferencia significativa en las pruebas afectivas. Dado que la textura desempeña un papel secundario en el grado de satisfacción de un producto, la importancia de este atributo consiste en su influencia en la percepción del sabor (Jeltem, Beckley, y Vahalik, 2015).

De acuerdo con la Figura 24, el resabio no presentó diferencia significativa para las muestras evaluadas por los consumidores, ubicándose en el punto “me disgusta un poco”. Aunque el panel del PF distinguió resabio metálico para la muestra 787 y resabio amargo para las demás muestras, con mayor intensidad en 911 que 161 y que 516, a los consumidores les disgustan por igual las muestras.

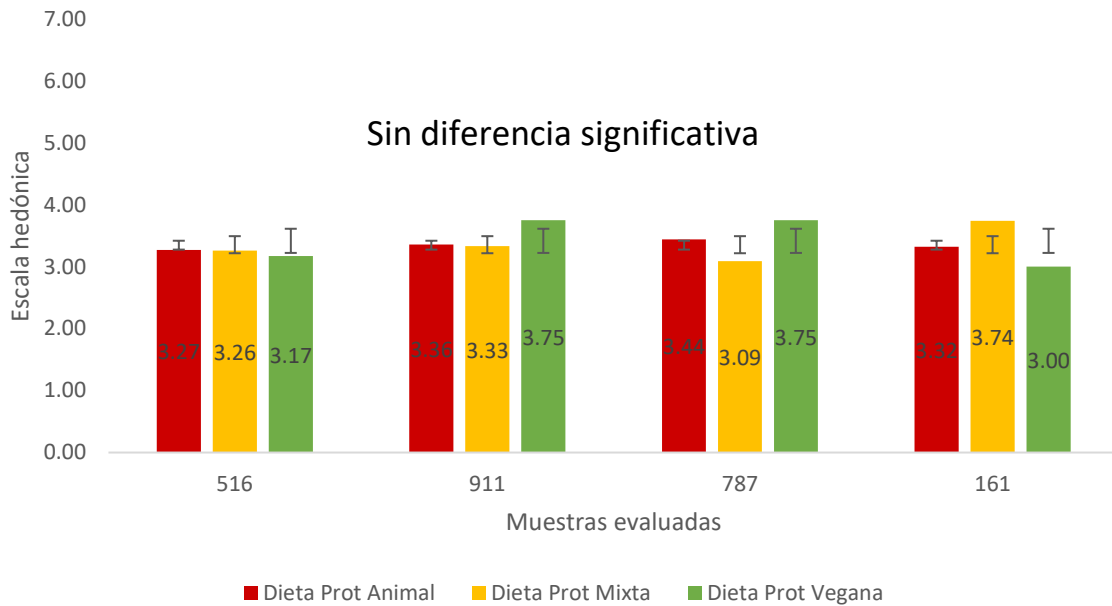


Figura 24. Comparación del nivel de agrado del resabio de las muestras.

Como se muestra en la Figura 25, los consumidores calificaron por igual el nivel de agrado en general de todas las muestras, aunque se aprecia diferencia en la evaluación por el tipo de consumidor, ésta no es significativa.

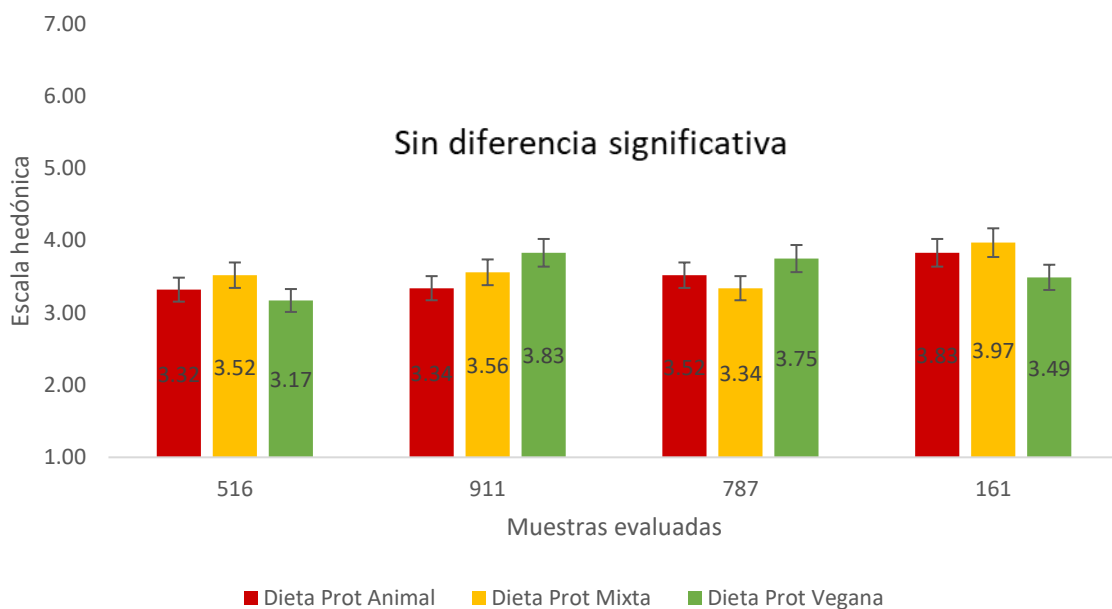


Figura 25. Comparación del nivel de agrado de los productos en general.

#### 6.3.3.4 Prueba de aceptación

La Figura 26 muestra el porcentaje de aceptación de las muestras, donde se observan porcentajes de aceptación considerablemente bajos (menores de 30 %). A pesar de que se esperaba que el producto 161 tuviera un porcentaje de aceptación más elevado presenta un mayor número de consumidores que la prefieren, por lo que su resultado es igual a la muestra 516 (con 15 consumidores menos). Sin embargo, ésta sí presenta la mayor diferencia entre los porcentajes de “Tal vez” y “No”. La muestra 787 fue la menos aceptada por los consumidores, lo que se puede relacionar a su textura arenosa, sabor salado y a tierra con fuertes notas de hongo y menor sabor a chocolate.

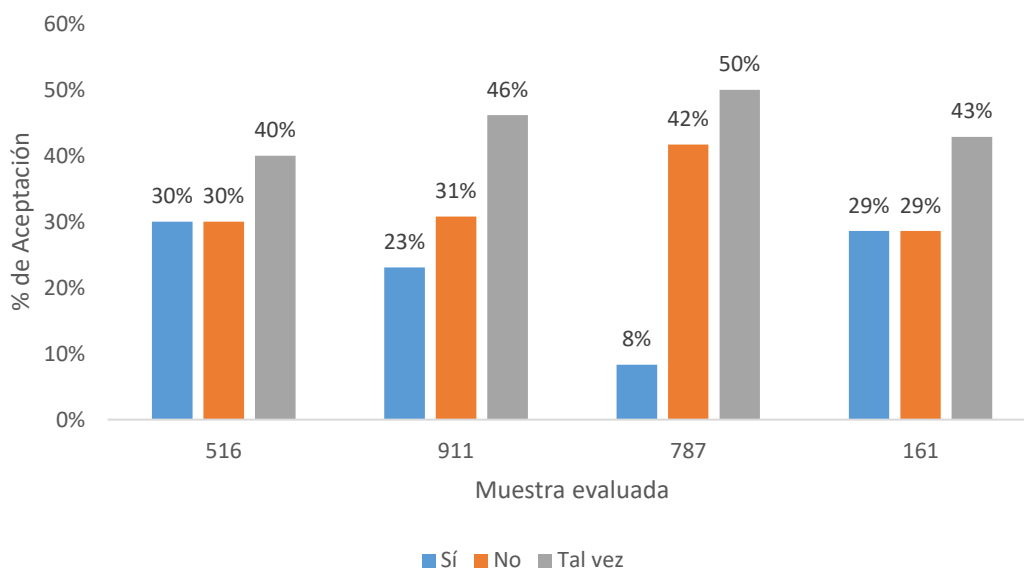
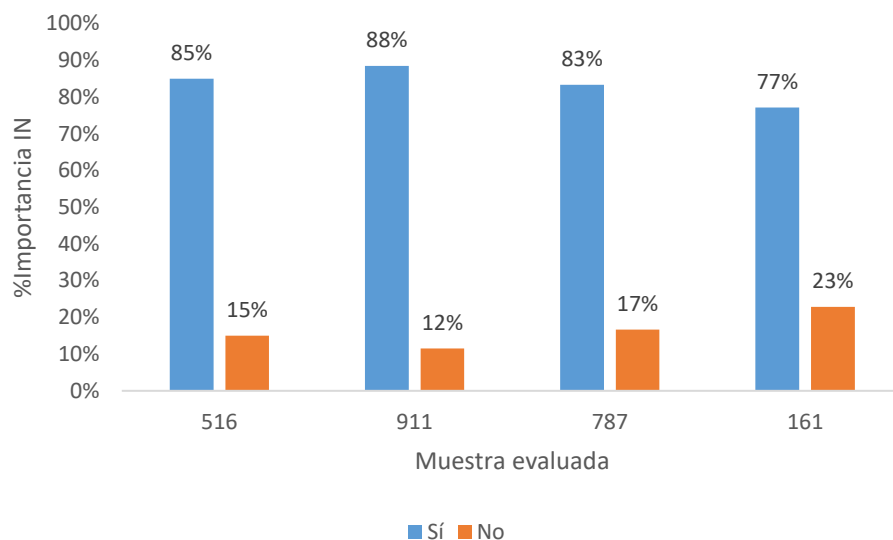


Figura 26. Porcentaje de aceptación de las muestras más preferidas.

A su vez, se preguntó a los consumidores si consideran que el conocer el origen y contenido de proteína de los bites evaluados impactaría en su decisión de compra. La Figura 27 muestra los resultados obtenidos, donde se observa que este conocimiento influye positivamente en la percepción de los productos, donde entre el 77 % y 85 % de los consumidores reconsideraría adquirirlos. Estudios de suplementos de proteínas para estudiantes universitarios señalan que el desarrollo de nuevos productos se debe enfocar en el origen de los ingredientes y su eficacia o calidad de proteína. A pesar de ello, la relación de precio y la satisfacción del producto deben considerarse para garantizar su éxito (Lee, 2015). Otro aspecto clave es que la mayoría de los consumidores de suplementos alimenticios se enfocan en el Cuadro nutricional y en toda la información que presenta la etiqueta.



*Figura 27. Porcentaje de importancia de la información nutrimental del producto para la decisión de compra.*

También se puede observar que aunque la muestra 161 fue la más preferida presenta la mayor resistencia a adquirirse, debido a que presenta un menor porcentaje de consumidores que en un principio no aceptarían el producto pero lo reconsideraría. De tal manera que se observa que aunque no se cumpla con la satisfacción esperada en términos hedónicos, su aceptación podría aumentar al presentar el producto con su etiquetado.

En el Cuadro 6.15 se observan los aspectos positivos y de mejora del producto de acuerdo con los comentarios expresados por los consumidores, siendo los más importantes por su porcentaje de mención la mejora del sabor y la textura.

*Cuadro 6. 15. Aspectos positivos y puntos de mejora de los productos evaluados.*

| Aspectos positivos  | Frecuencia de mención | Puntos de mejora | Frecuencia de mención |
|---------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| origen de proteína  | 8                     | sabor            | 22                    |
| sabor               | 4                     | textura          | 10                    |
| textura             | 2                     | aspecto          | 4                     |
| producto en general | 2                     | olor             | 1                     |
|                     |                       | resabio          | 1                     |

### 6.3.3.5 Mapa de preferencia externo

Al observar diferencia significativa en la evaluación del sabor, se realizó un mapa de preferencia externo para asociar el nivel de agrado del consumidor a las características de los productos. La Figura 28 muestra su espacio sensorial conformado por 5 atributos de materia prima, 17 atributos fisicoquímicos, 7 de textura instrumental, 7 de proceso y 27 descriptivos.

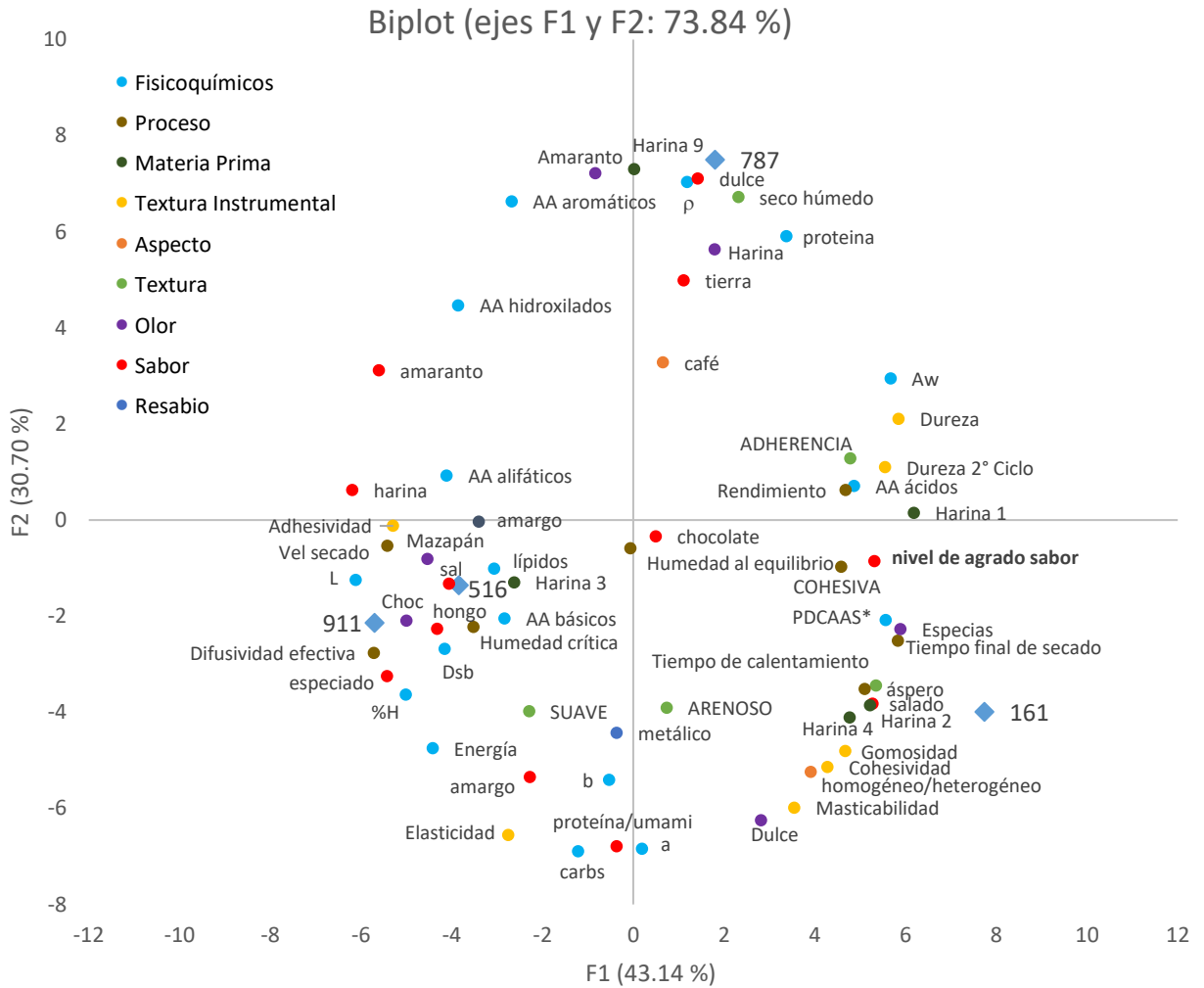


Figura 28. Mapa de preferencia externo de las muestras de suplemento alimenticio

De acuerdo con la Figura 28, el componente 1, conformado principalmente por el contenido de las Harinas 2 y 4, la actividad de agua, el contenido de aminoácidos ácidos, puntuación de aminoácidos, dureza, gomosidad, tiempo de calentamiento, tiempo final de secado, olor especiado, sabor a hongo, sal, textura áspera, adherencia, cohesividad y nivel de agrado y negativamente por la humedad, luminosidad, energía, adhesividad, difusividad efectiva, velocidad de secado, olor a chocolate, mazapán, harina, amaranto y sabor especiado explica el 43.14 % y el componente 2, conformado principalmente por el contenido de Harina 9, densidad, contenido de aminoácidos aromáticos, olor a amaranto y aspecto seco a húmedo y

negativamente por el espacio de color **a** y **b**, el contenido de carbohidratos, la elasticidad, masticabilidad, sabor dulce y el sabor a proteína/umami el 30.70 %, entre ambos explican el 73.84 % de la variabilidad de las muestras.

Se puede observar que el mapa de preferencia separa a las muestras con mayor nivel de agrado, principalmente en la componente 1, siendo 787 y 161 más gustadas que 911 y 516. Cabe mencionar que no se detectan diferencias en las muestras 911 y 516. La muestra con mayor nivel de agrado fue la 161 que se encuentra en el mismo cuadrante y se puede asociar que presenta un mayor sabor a chocolate y olor dulce, así como mayor cohesividad, gomosidad y masticabilidad, a pesar de presentar un tiempo final de secado superior a las demás muestras, entre otros aspectos. Las muestras 911 y 516 se aprecian con menor nivel de agrado en sabor debido a que presentaron un gusto amargo y umami más fuerte, sabor especiado y salado, así como olor amargo y resabio metálico, así como mayor adhesividad y suavidad o menor dureza.

Dado que el nivel de agrado corresponde a la escala “ni me gusta ni me disgusta” y que la muestra con mayor nivel de agrado sólo presentó diferencia significativa con otra en la prueba de ANOVA, a pesar de que el mapa de preferencia externo logra separar 3 de las 4 muestras. El objetivo logrado en las pruebas sensoriales consistió en determinar cuál de las mezclas resulta la mejor alternativa y el impacto de los demás aspectos, para ello se realizó un Análisis del Proceso Jerárquico. Es necesario realizar modificaciones a la reformulación si se desea alcanzar una mejor satisfacción hedónica y con ello adherencia al suplemento durante el tratamiento.

### 6.3.4 Análisis del Proceso Jerárquico (AHP)

Con el fin de considerar todos los aspectos relevantes para elegir la propuesta de suplemento más viable, se utilizó la herramienta de Teoría de Decisión del Análisis del Proceso Jerárquico (Peña-Florez y Rodríguez-Rojas, 2018). Para ello se establecieron pesos e indicadores que describan aquellas necesidades de un suplemento alimenticio adecuado para pacientes con MPE y se probaron las cuatro propuestas de suplemento con los indicadores descritos en el Cuadro 5.2. Sin embargo, es importante delimitar los criterios y el porcentaje asociado con cada parte para asegurarse que el peso se distribuya adecuadamente y se seleccione con precisión la alternativa más adecuada sin que los criterios pierdan relevancia debido a una cantidad excesiva de indicadores. En el Cuadro 6.16, se resumen los valores ideales para cada indicador, así como los valores obtenidos para las cuatro muestras del suplemento para MPE.

*Cuadro 6. 16. Resultados obtenidos de los indicadores seleccionados para el AHP.*

| <b>Indicador</b>                      | <b>Peso</b> | <b>Valor ideal</b> | <b>516</b> | <b>911</b> | <b>787</b> | <b>161</b> |
|---------------------------------------|-------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Escala hedónica<br/>sabor</b>      | 20          | 5                  | 3.15       | 3.56       | 3.71       | 4.17       |
| <b>Media estimada<br/>preferencia</b> | 20          | 1.85               | 2.78       | 2.55       | 2.59       | 2.07       |
| <b>Masticabilidad<br/>(TPA)</b>       | 10          | 2.73               | 1.83       | 1.93       | 1.43       | 2.73       |
| <b>Porcentaje de fase<br/>sólida</b>  | 10          | 0                  | 0          | 0          | 0          | 0          |
| <b>Operaciones<br/>Unitarias</b>      | 6.66        | 23                 | 31         | 23         | 23         | 27         |
| <b>Tiempo de<br/>secado</b>           | 6.66        | 4.42               | 4.97       | 5.58       | 4.42       | 4.84       |
| <b>Rendimiento<br/>Harina/MP</b>      | 6.66        | 21.25              | 21.04      | 19.67      | 17.94      | 21.25      |
| <b>Proteína digerible</b>             | 5           | 95.5               | 93.58      | 92.16      | 94.55      | 95.44      |
| <b>Calidad de<br/>PDCAAS</b>          | 10          | 85                 | 74.86      | 77.41      | 78.47      | 84.94      |
| <b>Energía de<br/>proteína</b>        | 5           | 40                 | 34.39      | 34.22      | 37.90      | 35.92      |

Los resultados de cada indicador se sometieron a la función de valor propuesta para ser evaluados mediante el AHP, dado que los valores ideales de la media de preferencia, porcentaje de fase sólida, operaciones unitarias y tiempo de secado son menores, se consideró la función de valor inversa.

En el Cuadro 6.17 se muestran los resultados normalizados a la función de valor y el peso asociado así como la suma y el orden de cumplimiento por el modelo de Análisis del Proceso Jerárquico.

Cuadro 6. 17 Función de Valor para los indicadores seleccionados para el AHP.

| Indicador                  | Peso | 516   | 911   | 787   | 161   |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Escala hedónica sabor      | 20   | 7.94  | 10.14 | 11.01 | 13.91 |
| Media estimada preferencia | 20   | 8.86  | 10.53 | 10.20 | 15.97 |
| Masticabilidad (TPA)       | 10   | 4.49  | 5.00  | 2.74  | 10.00 |
| Porcentaje de fase sólida  | 10   | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| Operaciones Unitarias      | 6.66 | 3.67  | 6.67  | 6.67  | 4.84  |
| Tiempo de secado           | 6.66 | 5.27  | 4.18  | 6.67  | 5.56  |
| Rendimiento Harina/MP      | 6.66 | 6.54  | 5.71  | 4.75  | 6.67  |
| Proteína digerible         | 5    | 4.80  | 4.66  | 4.90  | 4.99  |
| Calidad de PDCAAS          | 10   | 7.76  | 8.29  | 8.52  | 9.99  |
| Energía de proteína        | 5    | 3.70  | 3.66  | 4.49  | 4.03  |
| Suma Total                 | 100  | 63.02 | 68.83 | 69.95 | 85.96 |
| Orden                      | °    | 4     | 3     | 2     | 1     |

Los resultados obtenidos señalan que la muestra 161 es la más adecuada, principalmente por el peso de los criterios sensoriales, donde resultó la muestra mejor evaluada así como en los criterios de estabilidad, donde resulta la muestra con mayor masticabilidad, así como en el *score* de aminoácidos, donde es el producto con mejor PDCAAS.

Para evaluar la sensibilidad de las muestras frente a los pesos, se distribuyó equitativamente el porcentaje entre todos los criterios, así como un estudio con los aspectos: estabilidad, nutricional y de proceso como los más importantes (Peso 40 % respectivamente). La Figura 29 muestra la suma de la función de valor obtenida para los casos descritos, donde se observa que todas las muestras presentan ligera variación frente al peso y que el orden no se modifica, por ello la opción 161 continúa siendo la más viable, cuya diferencia promedio respecto su segundo valor inmediato corresponde a 14.44 puntos.



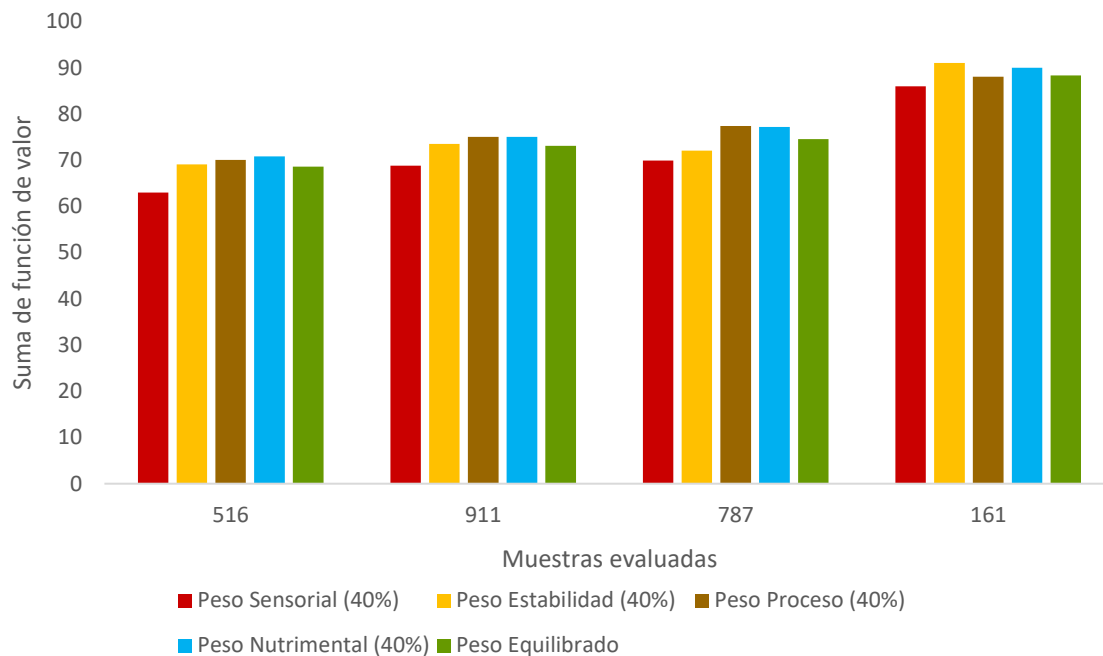


Figura 29. Estudio de sensibilidad para todos los indicadores seleccionados.

A pesar de no detectarse cambios significativos en el orden de los productos, la configuración de pesos inicial resulta más adecuada, debido a que presentó la función de valor con el menor porcentaje, lo que refleja el grado de satisfacción sensorial del producto obtenida en la evaluación hedónica. Sin embargo un valor promedio de 88.68 % representa un producto equilibrado a partir de los indicadores estudiados.

#### 6.4 Evaluación nutrimental del suplemento para MPE

Finalmente, una vez seleccionada la mezcla de harinas más adecuada dado el perfil buscado, se obtuvo su perfil nutrimental para establecer y comparar los resultados calculados por el balance de materia con los datos de la programación lineal con los obtenidos experimentalmente, con el fin de evaluar el enfoque utilizado. El Análisis Químico Proximal (6.4.1), así como el perfil de aminoácidos y proteína digerible y *score* de aminoácidos esenciales para la obtención del PDCAAS (6.4.2) se muestran para realizar la evaluación del producto (6.4.3).

Para el criterio de cumplimiento se consideró como ejemplo un estudio de programación lineal aplicada en formulación alimentos, donde establece que su enfoque fue adecuado al presentar una variación entre valores experimental y calculado alrededor de 8.5 % en calorías (Larrosa, Cadaval, y Pinto, 2015) y cuya función objetivo presentó una variación de 0.6 % con un intervalo de valores máximos y mínimos alrededor de 15 % (capacidad antioxidante).

Dado que el perfil sensorial del suplemento puede mejorarse en futuras reformulaciones con búsqueda de sabores y texturas diferentes, en este apartado se presentan los resultados que corresponden exclusivamente a la mezcla de aminoácidos, debido a que son los mismos para el *score* de aminoácidos y perfil de aminoácidos además de permitir ajustar fácilmente el análisis químico proximal.

#### 6.4.1 AQP del suplemento para MPE

El Análisis Químico Proximal de la muestra 161 se presenta en la Cuadro 6.18, donde se comparan los valores teóricos con los experimentales y el porcentaje de dispersión de los valores experimentales con el valor calculado expresado como desviación de la mezcla de proteína.

*Cuadro 6. 18. Comparación del análisis químico proximal de la muestra 161*

| <b>g/100 g muestra</b>          | <b>Experimental</b> | <b>Calculado</b> | <b>%Desviación</b> |
|---------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| <b>%Humedad</b>                 | 7.08±0.002          | 4.98             | 30                 |
| <b>%Fibra cruda</b>             | 9.63±0.052          | 9.17             | 5                  |
| <b>%Cenizas</b>                 | 5.02±0.046          | 7.68             | 53                 |
| <b>%Extracto Etéreo</b>         | 4.28±0.104          | 1.39             | 68                 |
| <b>%Carbohidratos</b>           | 44.31±0.001         | 49.79            | 12                 |
| <b>%Proteína Cruda</b>          | 29.68±0.0005        | 29.21            | 2                  |
| <b>Energía (kcal)</b>           | 334.48±0.5          | 325.32           | 3                  |
| <b>Relación de Proteína (%)</b> | 35.49               | 35.92            | 1.2                |

A pesar de que las estimaciones muestran diferencias superiores al intervalo deseado para los valores de humedad, cenizas y lípidos, es decir aquellos valores con porcentaje menor de 8 %, se observa que la relación de proteína y energía, así como el contenido de proteína que es clave para el producto se mantienen en valores aceptables. Asimismo, es necesario estudiar la adsorción que pudiera presentar el producto frente al ambiente y que la diferencia entre los valores calculados y experimentales puede generar valores de tolerancia máximos y mínimos, especialmente en aquellos productos que presentan un porcentaje menor de 8 %, los cuales presentan un mayor porcentaje de dispersión al ser los valores inferiores de cálculo. Sin embargo, la ventaja del producto es que sus macronutrientes (objetos de importancia calórica) se encuentran en un intervalo adecuado.

## 6.4.2 Calidad de proteína

El Cuadro 6.19 describe la relación de calidad de proteína (proteína digerible, relación proteína cruda y digerible, así como *score* de aminoácidos esenciales y finalmente el PDCAAS), para las muestras, se puede observar que el contenido de proteína digerible resultó ligeramente superior al esperado por la programación lineal, lo cual impacta en el cálculo del *score* de aminoácidos corregido.

Cuadro 6. 19 Comparación de la calidad de proteína de la muestra 161.

| <b>g/100 g muestra</b>     | <b>Experimental</b>         | <b>Calculado</b>   | <b>%Desviación</b> |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>%Proteína digerible</b> | 26.89±0.028                 | 25.26              | 6.1                |
| <b>PD/PC</b>               | 87.27±2.98x10 <sup>-5</sup> | 88.49              | 1.4                |
| <b>%Score W*</b>           | ~100                        | 202                | N/A                |
| <b>%Score T*</b>           | ~100                        | 177                | N/A                |
| <b>%Score I</b>            | 86.81±0.003                 | 185                | -13.19             |
| <b>%Score L*</b>           | ~100                        | 141                | N/A                |
| <b>%Score K*</b>           | ~100                        | 90                 | +10                |
| <b>%Score M+C</b>          | 99.6±0.025                  | 112                | -12.44             |
| <b>%Score F+Y*</b>         | ~100                        | 216                | N/A                |
| <b>%Score V</b>            | 96.25±0.025                 | 89                 | +7.5               |
| <b>PDCAAS</b>              | 75.8±0.3 <sup>l</sup>       | 84.94 <sup>v</sup> | -12                |

\*Por definición el *score* de este aminoácido esencial se considera 100 % si sobrepasa la recomendación.

Como se muestra en el Cuadro, la desviación de la estimación de la puntuación de aminoácidos es menor de 15 %, de tal manera que el enfoque se considera adecuado dado que los valores se calculan en miligramos de aminoácido por gramo de proteína del producto. En aquellos aminoácidos esenciales donde el *score* fue mayor de 100 % aún con la corrección de proteína digerible, se truncaron los valores de acuerdo con la definición de *score* de aminoácidos. Se observa que un PDCAAS de 75.8 % asociado con la cantidad de isoleucina en el producto y la digestibilidad de proteína. Dicho valor coincide con productos de origen no animal, donde se considera un *score* aceptable, este valor se debe principalmente a una sobre cuantificación de la isoleucina por parte de la harina 04, donde los valores del aminograma correspondieron a tipo de secado diferente, por ello es necesario establecer

intervalos de valores para aquellos productos donde se varíe el tipo y condiciones de secado. Cabe mencionar que la estimación del PDCAAS de valina presentó una variación del 0.7 %.

### 6.4.3 Evaluación nutrimental del producto

El producto se presenta como una alternativa de suplemento alimenticio para personas con malnutrición con densidad proteínica de 35 % y alta calidad de proteína no animal (considerando un PDCAAS de 75 %) resultando en una alternativa accesible y viable al basarse en productos familiares de origen no animal (Schaafsma, 2005).

Para cubrir las recomendaciones de un mexicano promedio (INSP, 2012) (altura promedio estimada 1.70 m y masa ideal de 70 kg) y un suplemento para malnutrición (alrededor del 20 % de las calorías diarias) se puede partir del consumo de 13 g de mezcla de proteína al día, lo que equivale a 3 tomas de 25 g de bites de proteína para cubrir 25 % de las necesidades de proteína diaria.

Además, el *score* del producto tiene una mejor evaluación nutrimental que las propuestas anteriores del ICAT al presentar una mejor proporción de aminoácidos esenciales. En el Cuadro 6.20 se muestra un estudio comparativo de la calidad de proteína de los suplementos desarrollados así como comparativa con cereales y legumbres cocidas (Rutherford et al., 2015).

*Cuadro 6. 20. Comparación de la calidad de proteína.*

| %             | Sup<br>Cirrosis | Sup<br>bariatría    | Sup<br>Multimezcla | Sup<br>malabsorción | Sup<br>LP       | Legumbres<br>cocidas | Cereales<br>cocidos |
|---------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| <b>W</b>      | 100             | 100                 | 98                 | 100                 | 100             | 100                  | 100                 |
| <b>T</b>      | 100             | 100                 | 100                | 100                 | 100             | 97                   | 82                  |
| <b>I</b>      | 67              | 78                  | 42                 | 100                 | 76              | 100                  | 100                 |
| <b>L</b>      | 71              | 80                  | 81                 | 100                 | 100             | 100                  | 99                  |
| <b>K</b>      | 73              | 60                  | 45                 | 50                  | 100             | 100                  | 57                  |
| <b>M+C</b>    | 74              | 60                  | 97                 | 100                 | 85              | 58                   | 100                 |
| <b>F+Y</b>    | 100             | 100                 | 100                | 100                 | 100             | 100                  | 100                 |
| <b>V</b>      | 64              | 78                  | 71                 | 61                  | 87              | 83                   | 90                  |
| <b>PDCCAS</b> | 64 <sup>V</sup> | 60 <sup>K,M+C</sup> | 42 <sup>I</sup>    | 50 <sup>K</sup>     | 76 <sup>I</sup> | 58 <sup>M+C</sup>    | 57 <sup>K</sup>     |

Como se puede observar, la deficiencia en lisina y metionina y cisteína (que fueron las más comunes) fueron cubiertas entre 20 % y 94 %. Además de lograr un incremento en valina en 8 y 46 % (el segundo aminoácido con menor *score*). La Figura 30 ilustra el PDCAAS de los productos estudiados además de compararlos con mezclas de productos locales nigerianos: soya, yuca, frijol chino, nuez de la India y ajonjolí que toman valores teóricos del PDCAAS (Brix, 2018) y de mezclas de soya con cereales (maíz, cebada y mijo) y adicionados con lisina para alcanzar una puntuación superior a 85 %, lo que fácilmente eleva el *score* de aminoácidos pero incrementa el costo del producto (Suri, Tano-Debrah, y Ghosh, 2014).

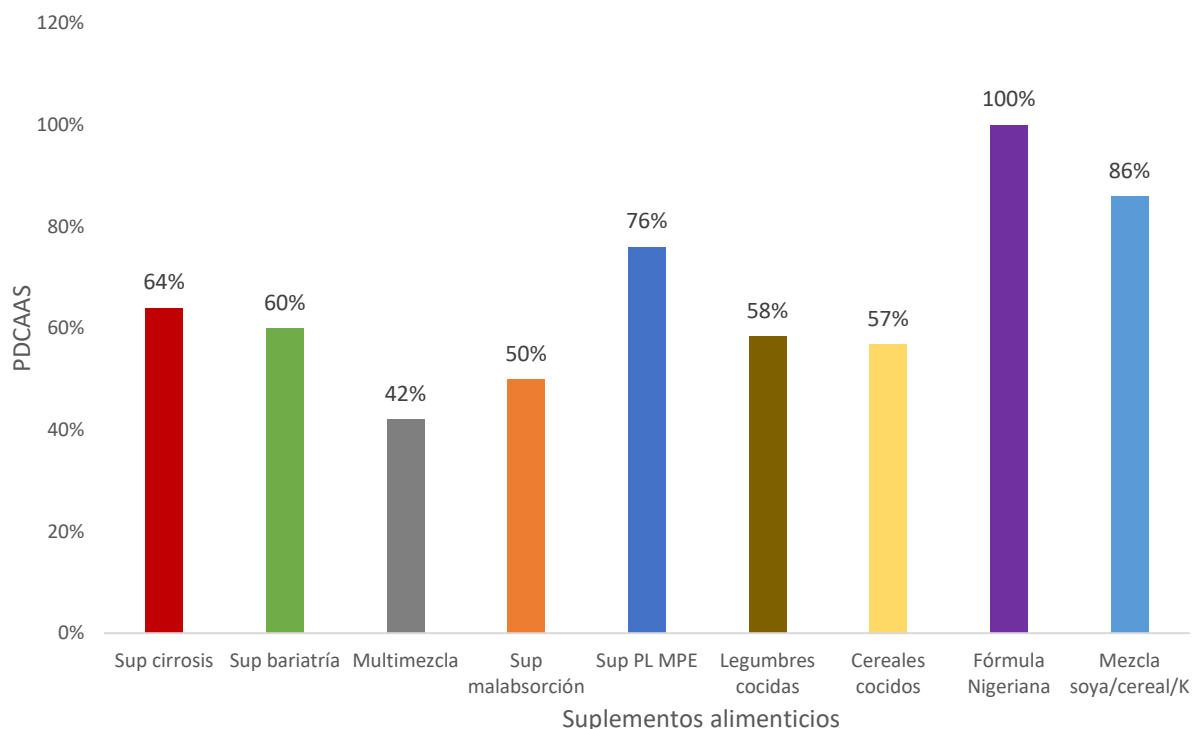


Figura 30. Comparación del PDCAAS de los suplementos enfocados en MPE.

De tal manera que la complementación de proteína de alta calidad fue posible mediante este enfoque. A pesar de que se observa que las mezclas de proteína no animal no sustituyen el valor biológico de la proteína de leche o huevo (~1.0) el producto se clasifica como de alta calidad de proteína.

Aunque la dificultad asociada a una mezcla de diferentes fuentes de proteína se incrementa su complejidad debido al número de variables y contenido de aminoácidos, por ello, el diseño de un producto con materia prima de origen local y alta familiaridad que incremente la sostenibilidad como un alternativa frente a suplementos alimenticios de alto costo basándose en las necesidades individuales de pacientes con malnutrición proteínico-energética.

## Conclusiones

Este estudio demuestra la exactitud, flexibilidad y eficiencia de un modelo programación lineal para el diseño de alimentos con necesidades específicas y múltiples restricciones. Con la propuesta de un modelo de optimización de suplementos alimenticios para pacientes con MPE fue posible diseñar cuatro propuestas con PDCAAS entre el 74.86 y 84.94 %.

La materia prima utilizada presentó diferencias significativas en su porcentaje de humedad, actividad de agua, porcentaje de sedimentación, densidad, sólidos solubles en agua, espacio de color, índice de consistencia, límite elástico y ángulo de fase a bajas frecuencias. A pesar de ello, los productos locales se caracterizaron por su alto contenido de proteína de origen no animal e independencia lineal en el contenido de aminoácidos esenciales.

Las cuatro propuestas presentaron diferencias significativas en su actividad de agua, humedad, espacio de color, densidad, adhesividad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad, nivel de agrado de sabor y preferencia, así como diferencias en sus operaciones unitarias, tiempo de secado y rendimiento, lo que permite establecer estos valores como indicadores para la evaluación de criterios de estabilidad, proceso, sensorial y nutrimental.

Por ello, el proceso analítico jerárquico permitió seleccionar la mejor mezcla de harinas (161), la cual se caracterizó por una mayor estabilidad, debido a una mayor cohesividad, gomosidad y masticabilidad, así como un mayor rendimiento en sus materias primas y mayor nivel de agrado en su sabor, así como una mayor cantidad y calidad de proteína.

El mapa de preferencia externo permitió relacionar el nivel de agrado del producto 161 a un mayor sabor a chocolate, salado y olor dulce y especiado, así como mayor cohesividad, gomosidad y masticabilidad.

La densidad energética de proteína del producto mejor evaluado fue de 35.49 % y el PDCAAS experimental de 76 % y una desviación entre el valor calculado y valor experimental de 12 % (Valor teórico 84.94 %) debido posiblemente a una sobre cuantificación de isoleucina por un proceso de obtención anterior de la harina 4. No obstante, la mezcla propuesta se clasifica como producto con alta calidad de proteína no animal para la terapia nutricional de pacientes con MPE secundaria. Con estos resultados se demuestra que la programación lineal es una herramienta útil para diseñar formulaciones basándose en la información nutrimental de productos locales y los requerimientos nutrimentales de MPE, para proporcionar alternativas de menor costo frente a productos de origen animal.

Para estudios posteriores se recomienda:

- ◆ Establecer límites e intervalos de valores para el perfil de aminoácidos de materia prima y productos para predecir un *score* con mayor precisión.
- ◆ Estudiar el contenido de micronutrientes para estudiar su relevancia en la mezcla obtenida.
- ◆ Realizar un estudio de absorción de proteína en un digestor.
- ◆ Ajustar la formulación para elevar el contenido de isoleucina a través de la búsqueda de otras fuentes de proteína no animal.
- ◆ Realizar un ajuste del producto final con diferentes texturas (tipo mazapán y pulpa) y sabores (cacahuete, chocolate, mazapán) para elevar el nivel de agrado del suplemento alimenticio.
- ◆ Establecer la vida de anaquel de la mezcla de proteínas 161.
- ◆ Realizar un estudio de escalamiento del proceso.
- ◆ Estudiar más fuentes de proteína no animal para crear una base de datos más amplia para diversificar y generar más alternativas de suplementos mediante programación lineal
- ◆ Generar un protocolo clínico para estudiar la satisfacción de los pacientes con malnutrición proteínico-energética.
- ◆ Publicación de un artículo sobre el enfoque de la programación lineal en la búsqueda de soluciones para MEP.
- ◆ Preparación de un artículo sobre el Análisis del Proceso Jerárquico para el estudio de elementos clave en la formulación de un suplemento alimenticio enfocado en MEP.

## Referencias

- ◆ Aarts, Tomas, y Rick Polito (2016), «Supplement Industry Market Overview 2017», *Nutrition Business Journal* (2). <https://www.newhope.com/sites/newhope360.com/files/Expo-West-2017-Supplements-Today-1.pdf>.
- ◆ Achidi, Aduni U, Bernard Tiencheu, Noel Tenyang, Hilaire M Womeni, Marcel N Moyeh, Lucy T Ebini, y Fossi Tatsinkou (2016), «Quality Evaluation of Nine Instant Weaning Foods Formulated from Cereal , Legume , Tuber , Vegetable and Crayfish», *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering* 6 (2): 21-31. doi:10.5923/j.food.20160602.01.
- ◆ Ahn, Joomi, Min-Jie Cao, Ying Qing Yu, y John R Engen (2013), «Assessing the Reproducibility and Specificity of Pepsin and Other Aspartic Proteases.», *Biochimica et Biophysica Acta* 1834 (6) (junio): 1222-1229. doi:10.1016/j.bbapap.2012.10.003.
- ◆ Alasfoor, Deena, Hanadi Rajab, y Buthaina Al-Rassasi (2009), «Food Based Dietary Guidelines: Technical background and description - Task force for the development and implementation of the Omani Food Based Dietary Guidelines». doi:10.1108/JPMD-06-2017-0048.
- ◆ Allen, V, L Methven, y M Gosney (2013), «The Influence of Nutritional Supplement Drinks on Providing Adequate Calorie and Protein Intake in Older Adults with Dementia.», *The Journal of Nutrition, Health & Aging* 17 (9) (septiembre): 752-755. doi:10.1007/s12603-013-0364-5.
- ◆ Alvarado Boirivant, Jorge (2009), «La programación lineal aplicación de las pequeñas y medianas empresas», *Rev. Reflexiones* 88 88 (1): 89-105.
- ◆ Alvarado Lagunas, Elías, y José Raúl Luyando Cuevas (2014), «Alimentos saludables: la percepción de los jóvenes adolescentes en Monterrey, Nuevo León», *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional* 21 (41). doi:10.24836/es.v21i41.77.
- ◆ Álvarez-Escobedo, Christian, y María Magdalena Brito-Bazán (2004), «Síntesis Óptima y Minimización de Servicios Auxiliares para el Proceso de Hidrodealquilación de Tolueno». Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química Universidad de las Américas.
- ◆ Andersen, Barbara Vad, Per Bruun Brockhoff, y Grethe Hyldig (2019), «The importance of liking of appearance, -odour, -taste and -texture in the evaluation of overall liking. A comparison with the evaluation of sensory satisfaction», *Food Quality and Preference* 71 (July 2018): 228-232. doi:10.1016/j.foodqual.2018.07.005.
- ◆ Andersen, Barbara Vad, y Grethe Hyldig (2015), «Consumers' View on Determinants to Food Satisfaction. A Qualitative Approach.», *Appetite* 95 (diciembre): 9-16. doi:10.1016/j.appet.2015.06.011.
- ◆ Ángel Rivera-Dommarco, Juan, Lucía Cuevas-Nasu, y Teresita González de Cosío (2013), «Desnutrición crónica en México en el último cuarto de siglo: análisis de cuatro encuestas nacionales», *Salud Pública de México; Vol. 55 (2013): Suplemento 2. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012, México. Análisis de sus principales resultados* 10.21149/spm.v55s2.5112 (marzo 4). <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/5112/10118>.
- ◆ AOAC (2011), *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International, Recovery studies, 17th edn. Byrd Richmond, VA.*





- ◆ De Carvalho, Irene Stuart Torrié, Yvonne Granfeldt, Petr Dejmek, y Andreas Haansson (2015), «From diets to foods: Using linear programming to formulate a nutritious, minimum-cost porridge mix for children aged 1 to 2 years», *Food and Nutrition Bulletin* 36 (1): 75-85. doi:10.1177/156482651503600107.
- ◆ Castro, Carlos (2004), «Fundamentos de Investigación de Operaciones Formulación de Modelos de Programación Lineal»: 19.
- ◆ CENETEC (2008), «Diagnóstico y tratamiento de la desnutrición en menores de cinco a los menores de cinco años en el primer nivel de atención», *Guía de Práctica Clínica*: 22.
- ◆ Chen, Xiao Dong (2005), «A discussion on a generalized correlation for drying rate modeling», *Drying Technology* 23 (3): 415-426. doi:10.1081/DRT-200054114.
- ◆ Chhabra, Namrata, y Sahil Chhabra (2012), *A case oriented approach towards Biochemistry*. Nueva Dehli, Panamá, Londres, Daca y Katmandú. Jaypee Brothers Medical Publishers.
- ◆ Chinneck, John W (2016), «Binary and Mixed-Integer Programming», *Practical Optimization: a Gentle Introduction*: 1-11. <http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html>.
- ◆ Codex Alimentarius (2009), «Declaraciones Nutricionales y Saludables (CAC/GL 23-1997) Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables». Roma. Codex Alimentarius.
- ◆ COFEPRIS (2016), *Etiquetado de Suplementos Alimenticios*. CDMX. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207440/folleto\\_suplemento\\_alimenticio\\_VoBo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207440/folleto_suplemento_alimenticio_VoBo.pdf).
- ◆ Dabbour, Ibrahim R., y Hamed R. Takruri (2002), «Protein quality of four types of edible mushrooms found in Jordan», *Plant Foods for Human Nutrition* 57 (1): 1-11. doi:10.1023/A:1013166623496.
- ◆ Dantzig, G.B. (2012), «The Diet Problem», *Interfaces* 20 (4): 57–77.
- ◆ Darmon, Nicole, Elaine Ferguson, y André Briend (2002), «Linear and nonlinear programming to optimize the nutrient density of a population's diet: An example based on diets of preschool children in rural Malawi», *American Journal of Clinical Nutrition* 75 (2): 245-253. doi:10.1093/ajcn/75.2.245.
- ◆ Dunzz, D. L (2018), «Desarrollo de un suplemento alimenticio tipo "natilla" para pacientes bariátricos sometidos a cirugía mediante el método restrictivo bypass gástrico Y de Roux». . Tesis de Licenciatura Gastronomía Universidad del Claustro de Sor Juana.
- ◆ Van Dusseldorp, M, I C Arts, J S Bergsma, N De Jong, P C Dagnelie, y W A Van Staveren (1996), «Catch-up Growth in Children Fed a Macrobiotic Diet in Early Childhood.», *The Journal of Nutrition* 126 (12) (diciembre): 2977-2983. doi:10.1093/jn/126.12.2977.
- ◆ Eastman, James.E., y Carl.O. Moore (1984), «Cold-water-soluble granular starch for gelled food compositions background and summary of the invention» (19): 1-18.
- ◆ European Pharmacopoeia (2010), «Amino acid analysis», *European Pharmacopoeia*. Council of Europe. doi:01/2014:0906.
- ◆ FAO (1992), «Maize in human nutrition». Colección FAO. <http://www.fao.org/docrep/T0395E/T0395E00.htm#Contents>.
- ◆ FAO, OMS, UNICEF, WFP, y IFAD (2018), *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition*. Colección FAO. <https://data.unicef.org/resources/sofi-2018/>.
- ◆ FAO, OMS, y UNU (2007), *PROTEIN AND AMINO ACID REQUIREMENTS IN HUMAN NUTRITION. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation, WHO Technical Report Series*. 935.<sup>a</sup> ed. Singapur. Colección FAO.
- ◆ Fearon, Kenneth, Jann Arends, y Vickie Baracos (2013), «Understanding the Mechanisms and Treatment Options in Cancer Cachexia.», *Nature Reviews. Clinical Oncology* 10 (2) (febrero): 90-99. doi:10.1038/nrclinonc.2012.209.

- ◆ Ferguson, Elaine L, Nicole Darmon, Inguruwatte M Premachandra, y Ferguson E T Al (2004), «Programming Analysis», *J. Nutrition* (October 2003): 951-957.
- ◆ Fourer, David, David M Gay, y Brian W Kernighan (2003), «Linear Programs : Variables, Objectives and Constraints», En *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*, 129-142. Illinois. Cengage Learning.
- ◆ Golden, Michael H. (2009), «Proposed Recommended Nutrient densities for moderately malnourished children», *Food and Nutrition Bulletin* 30 (3 SUPPL. 1).
- ◆ Gracia-Iguacel, Carolina, Emilio González-Parra, Guillermina Barril-Cuadrado, Rosa Sánchez, Jesús Egado, Alberto Ortiz-Arduán, y Juan J. Carrero (2014), «Definiendo el síndrome de desgaste proteico energético en la enfermedad renal crónica: Prevalencia e implicaciones clínicas», *Nefrología* 34 (4): 507-519. doi:10.3265/Nefrología.pre2014.Apr.12522.
- ◆ Griffin, Christopher, y Bob Pakzad-Hurson (2014), *Linear Programming : Penn State Math 484 Lecture Notes, Notes*. Pensilvania. Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.
- ◆ Hedges, LJ, y CE Lister (2007), «Nutritional attributes of spinach, silver beet and eggplant», *New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited* (1928): 17-18.
- ◆ Heldman, Dennis R., y Daryl B. Lund (2006), *Handbook of food engineering, Handbook of Food Engineering, Second Edition*. 2.ª ed. Ohio. CRC Press.
- ◆ Hersch-Martínez, Paul, y Julio Pisanty-Alatorre (2016), «Chronic undernourishment in school-aged children: Itineraries of nutritional neglect and official programs in indigenous communities of Guerrero, Mexico», *Salud Colectiva* 12 (4): 551-573. doi:10.18294/sc.2016.917.
- ◆ Heume, M, y A Rapaille (1996), «Versatility of maltitol in different forms as a sugar substitute BT - Advances in Sweeteners», En , ed. T H Grenby, 85-108. Boston, MA. Springer US. doi:10.1007/978-1-4613-1229-1\_5. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1229-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1229-1_5).
- ◆ Hoffer, L. J. (2001), «Clinical nutrition: 1. Protein-energy malnutrition in the inpatient», *CMAJ* 165 (10): 1345-1349.
- ◆ Holdaway, Anne (2014), «High Protein Nutritional Support», *CN Focus* 6 (3): 59-61.
- ◆ Hoppert, Karin, Susann Zahn, Antje Puschmann, Ines Ullmann, y Harald Rohm (2012), «Quantification of sensory difference thresholds for fat and sweetness in dairy-based emulsions», *Food Quality and Preference* 26 (1): 52-57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.03.008>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329312000638>.
- ◆ Hsu, J. W., A. Badaloo, L. Wilson, C. Taylor-Bryan, B. Chambers, M. Reid, T. Forrester, y F. Jahoor (2016), «Dietary supplementation with aromatic amino acids increases protein synthesis in children with severe acute malnutrition», *World Review of Nutrition and Dietetics* 114: 122-123. doi:10.1159/000441823.
- ◆ Iannario, Maria, Marica Manisera, Domenico Piccolo, y Paola Zuccolotto (2012), «Sensory analysis in the food industry as a tool for marketing decisions», *Advances in Data Analysis and Classification* 6 (4): 303-321. doi:10.1007/s11634-012-0120-4.
- ◆ INSP (2012), «Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales.», *Instituto Nacional de Salud Pública*. CDMX.
- ◆ Luel-Brockdorf, Ann-Sophie, Tania Aase Draebel, Christian Ritz, Christian Fabiansen, Bernardette Cichon, Vibeke Brix Christensen, Charles Yameogo, et al. (2016), «Evaluation of the Acceptability of Improved Supplementary Foods for the Treatment of Moderate Acute Malnutrition in Burkina Faso Using a Mixed Method Approach.», *Appetite* 99 (abril): 34-45. doi:10.1016/j.appet.2015.12.030.
- ◆ Jackson, Alan A, y R F Grimble (1990), «Malnutrition and Amino Acid Metabolism», En *The malnourished Child*, ed. Robert M Suskind y Leslie Lewinter-Susking. Vol. 19. Nueva York. Vevey/raven Press Ltd.

- ◆ De Jager, Ilse, Karin J. Borgonjen-Van Den Berg, Ken E. Giller, y Inge D. Brouwer (2019), «Current and potential role of grain legumes on protein and micronutrient adequacy of the diet of rural Ghanaian infants and young children: Using linear programming», *Nutrition Journal* 18 (1): 1-16. doi:10.1186/s12937-019-0435-5.
- ◆ Jeltem, Melissa, Jacqueline Beckley, y Jennifer Vahalik (2015), «Model for understanding consumer textural food choice», *Food Science and Nutrition* 3 (3): 202-212. doi:10.1002/fsn3.205.
- ◆ Jensen, Gordon L., Charlene Compher, Dennis H. Sullivan, y Gerard E. Mullin (2013), «Recognizing malnutrition in adults: Definitions and characteristics, screening, assessment, and team approach», *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 37 (6): 802-807. doi:10.1177/0148607113492338.
- ◆ Jensen, Gordon L., Jay Mirtallo, Charlene Compher, Rupinder Dhaliwal, Alastair Forbes, Rafael Figueredo Grijalba, Gil Hardy, et al. (2010), «Adult Starvation and Disease-Related Malnutrition: A Proposal for Etiology-Based Diagnosis in the Clinical Practice Setting from the International Consensus Guideline Committee.», *JPEN. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 34 (2): 156-159. doi:10.1177/0148607110361910.
- ◆ Jiménez-Benítez, D., A. Rodríguez-Martín, y R. Jiménez-Rodríguez (2010), «Análisis de determinantes sociales de la desnutrición en Latinoamérica», *Nutr. Hosp. vol.25 supl.3* 25 (3): 1-86. doi:10.3305/nh.2010.25.sup.3.4992.
- ◆ Joyanes-Aguilar, Luis (2008), *Fundamentos de programación: algoritmos, estructuras de datos y objetos*. 4ta ed. Madrid. McGraw Hill. [http://www.ghbook.ir/index.php?name=های ر سازه و ف ره نگ&option=com\\_dbook&task=readonline&book\\_id=13650&page=73&chkhask=ED9C9491B4&temid=218&lang=fa&tmpl=component](http://www.ghbook.ir/index.php?name=های ر سازه و ف ره نگ&option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chkhask=ED9C9491B4&temid=218&lang=fa&tmpl=component).
- ◆ Kennedy, Orla, Clara Law, Lisa Methven, Donald Mottram, y Margot Gosney (2010), «Investigating Age-Related Changes in Taste and Affects on Sensory Perceptions of Oral Nutritional Supplements.», *Age and Ageing* 39 (6) (noviembre): 733-738. doi:10.1093/ageing/afq104.
- ◆ Kim, Yeon-Hak, Sun-Woong Park, y Yeong-Wha Sawng (2016), «Improving new product development (NPD) process by analyzing failure cases», *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship* 10 (1): 134-150. doi:10.1108/apjie-12-2016-002.
- ◆ Klein, Samuel (2012), «Protein-energy malnutrition», En *Goldman's Cecil Medicine*, ed. Lee Goldman y Andrew I Schaffer, 1388-1391. Nueva York. Saunders.
- ◆ Kouhila, Mounir, Haytem Moussaoui, Hamza Lamsyehe, Zakaria Tagnamas, Younes Bahammou, Ali Idlimam, y Abdelkader Lamharrar (2020), «Drying characteristics and kinetics solar drying of Mediterranean mussel (*mytilus galloprovincialis*) type under forced convection», *Renewable Energy* 147: 833-844. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.055. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119313850>.
- ◆ Kourkouta, Lambrini, Christos Iliadis, Ekaterina Frantzana, Alexandros Monios, Alexandra Dimitriadou, y Ioanna V Papathanassiou (2016), «and Dietary Supplements », *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)* 3 (9): 153-182. doi:10.1016/B978-0-12-804305-9/00005-1.
- ◆ Krebs, Nancy F, Manolo Mazariegos, Elwyn Chomba, Neelofar Sami, Omrana Pasha, Antoinette Tshetu, Waldemar A Carlo, et al. (2012), «Randomized Controlled Trial of Meat Compared with Multimicronutrient-Fortified Cereal in Infants and Toddlers with High Stunting Rates in Diverse Settings.», *The American Journal of Clinical Nutrition* 96 (4) (octubre): 840-847. doi:10.3945/ajcn.112.041962.
- ◆ Kreissl, Alexandra (2009), «Malnutrition in the Philippines—perhaps a Double Burden?», *Journal für Ernährungsmedizin* 11 (enero 1).
- ◆ Krishnaja, U., y P. Mary Ukkuru (2016), «Development and quality assessment of Functional Food Supplement (FFS) for the management of lifestyle diseases», *Asian Journal of Dairy and Food Research* 35 (3): 227-233. doi:10.18805/ajdfr.v3i1.3577.

- ◆ Kumar, D Nagesh (2016), *Introduction and Basic Concepts : Optimization Problem and Model Formulation, Optimization Methods*. Bangalore. Indian Institute of Science.
- ◆ Larrosa, Ana P Q, Tito R S Cadaval, y Luiz A A Pinto (2015), «Influence of drying methods on the characteristics of a vegetable paste formulated by linear programming maximizing antioxidant activity», *LWT - Food Science and Technology* 60 (1): 178-185.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.003>.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643814004915>.
- ◆ Lartey, A, A Manu, K H Brown, J M Peerson, y K G Dewey (1999), «A Randomized, Community-Based Trial of the Effects of Improved, Centrally Processed Complementary Foods on Growth and Micronutrient Status of Ghanaian Infants from 6 to 12 Mo of Age.», *The American Journal of Clinical Nutrition* 70 (3) (septiembre): 391-404. doi:10.1093/ajcn/70.3.391.
- ◆ Latham, Michael C (2002), *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Roma. Colección FAO.
- ◆ Lau, M. H., J. Tang, y A. T. Paulson (2000), «Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels», *Food Research International* 33 (8): 665-671. doi:10.1016/S0963-9969(00)00111-3.
- ◆ Lee, Joeeun (2015), «A study on the importance and satisfaction of protein supplement of college students majoring in physical education», *Indian Journal of Science and Technology* 8 (April): 320-326. doi:10.17485/ijst/2015/v8iS7/70440.
- ◆ Lemus-Mondaca, R, N Betoret, A Vega-Galvéz, y E Lara-Aravena (2009), «Dehydration characteristics of papaya (*Carica pubescens*): determination of equilibrium moisture content and diffusion coefficient», *Journal of Food Process Engineering* 32 (5) (octubre 1): 645-663. doi:10.1111/j.1745-4530.2007.00236.x. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00236.x>.
- ◆ León-Sanz, Miguel, y Maria Angeles Valero (2017), «Nutrition in Neurologic Disorders», En *Nutrition in Neurologic Disorders*, ed. EM Arsava. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-53171-7.
- ◆ Liu, Jing, Marlene Schou Grønbeck, Rossella Di Monaco, Davide Giacalone, y Wender L P Bredie (2016), «Performance of Flash Profile and Napping with and without training for describing small sensory differences in a model wine», *Food Quality and Preference* 48: 41-49.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.08.008>.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329315002025>.
- ◆ Liyanage, Dasith, Thamali Jayawickrama, A Kumbalataru, Jinendrika Weliwita, y Sanjeeva Witharana (2016), «An Analysis of Nanoparticle Settling Times in Liquids», *Journal of Nanomaterials* 2016 (enero 14). doi:10.1155/2016/7061838.
- ◆ Lund, Marianne, y Colin Ray (2017), «Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms», *Journal of agricultural and food chemistry* 65 (mayo 23). doi:10.1021/acs.jafc.7b00882.
- ◆ Lutter, C K, J O Mora, J P Habicht, K M Rasmussen, D S Robson, y M G Herrera (1990), «Age-Specific Responsiveness of Weight and Length to Nutritional Supplementation.», *The American Journal of Clinical Nutrition* 51 (3) (marzo): 359-364. doi:10.1093/ajcn/51.3.359.
- ◆ M. Shafiur Rahman (2007), *Handbook of Food Preservation*, CRC Press. doi:10.1016/S0963-9969(00)00143-5.
- ◆ Martini, Silvia, Claudia Bonechi, Alberto Foletti, y Claudio Rossi (2013), «Water-protein interactions: The secret of protein dynamics», *The Scientific World Journal* 2013. doi:10.1155/2013/138916.
- ◆ Martinich, Joseph S. (1997), *Joseph S. Martinich, Production and Operations Management: An Applied Modern Approach*. Nueva York. Wiley. doi:10.2307/3612921.
- ◆ Martorell, R., R.E. Klein, y H. Delgado (1980), «Improved nutrition and its effects on anthropometric indicators of nutritional-status», *Nutr. Rep. Int.* 21: 219-230.



- ◆ Mattila, Pirjo, Pirjo Salo-Väänänen, Karoliina Könkö, Heikki Aro, y Taina Jalava (2002), «Basic composition and amino acid contents of mushrooms cultivated in Finland», *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (22): 6419-6422. doi:10.1021/jf020608m.
- ◆ Méndez, Cintya (2018), «Elaboración de suplementos a base de origen vegetal para pacientes con cirrosis hepática». Tesis de Licenciatura Química de Alimentos UNAM.
- ◆ Mendoza, Eduardo, y Concepción Calvo (2010), *Bromatología Composición y propiedades de los alimentos*. 4ta ed. CDMX.
- ◆ Mendoza, I. (2020), «Composición y caracterización fisicoquímicas de harinas para elaboración de suplementos alimenticios para personas con malnutrición».
- ◆ Milke-García, Pilar, y Renata Rivera-Flores (2010), «Síndrome de anorexia-caquexia», *Revista de Gastroenterología de México* 2 (75): 205-207.
- ◆ Millward, D. Joe (1999), «The nutritional value of plant-based diets in relation to human amino acid and protein requirements», *Proceedings of the Nutrition Society* 58 (2): 249-260. doi:10.1017/s0029665199000348.
- ◆ Morley, John E (2019), «Screening for Malnutrition (Undernutrition) in Primary Care», *The journal of nutrition, health & aging* 23 (1): 1-3. doi:10.1007/s12603-018-1142-1. <https://doi.org/10.1007/s12603-018-1142-1>.
- ◆ Muhimbula, Happiness S, Abdulsudi Issa-Zacharia, y Joyce Kindabo (2011), «Formulation and sensory evaluation of complementary foods from local, cheap and readily available cereals and legumes in Iringa, Tanzania», *African Journal of Food Science* 5 (January): 26-31.
- ◆ Nair, Anroop B, y Shery Jacob (2016), «A Simple Practice Guide for Dose Conversion between Animals and Human», *Journal of Basic and Clinical Pharmacy* 7 (2) (marzo): 27-31. doi:10.4103/0976-0105.177703. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27057123>.
- ◆ Narsimhan, Ganesan, y Ning Xiang (2018), «Role of Proteins on Formation, Drainage, and Stability of Liquid Food Foams», *Annual Review of Food Science and Technology* 9 (1): 45-63. doi:10.1146/annurev-food-030216-030009.
- ◆ Neria Velasco, Gabriela (2018), «Aplicación de metodologías sensoriales en la caracterización de un suplemento de origen vegetal». Tesis Licenciatura Química de Alimentos UNAM.
- ◆ Neumann, Charlotte G, Suzanne P Murphy, Connie Gewa, Monika Grillenberger, y Nimrod O Bwibo (2007), «Meat Supplementation Improves Growth, Cognitive, and Behavioral Outcomes in Kenyan Children.», *The Journal of Nutrition* 137 (4) (abril): 1119-1123. doi:10.1093/jn/137.4.1119.
- ◆ NHS (2011), *Supplements Who needs them ?* Reino Unido. NHS.
- ◆ Noriega, Kristen E., y Brian L. Lindshield (2014), «Is the inclusion of animal source foods in fortified blended foods justified?», *Nutrients* 6 (9): 3516-3535. doi:10.3390/nu6093516.
- ◆ de Onís, M, C Monteiro, J Akré, y G Clugston (1993), «The worldwide magnitud of protein-energy malnutrition:an overview from the WHO Global Database on Child Growth», *Bulletin of the World Health Organization* 71 (5): 703-712. doi:world wide magnitud.
- ◆ Parlesak, Alexandr, Inge Tetens, Jørgen Dejgård Jensen, Sinne Smed, Mojca Gabrijelčič Blenkuš, Mike Rayner, Nicole Darmon, y Aileen Robertson (2016), «Use of linear programming to develop cost-minimized nutritionally adequate health promoting food baskets», *PLoS ONE* 11 (10): 0-19. doi:10.1371/journal.pone.0163411.
- ◆ Peña-Florez, Luis Alfonso, y Yuber Liliانا Rodríguez-Rojas (2018), «Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta», *Ingeniería* 23 (3): 230-251. doi:10.14483/23448393.13316.
- ◆ Plank, David W (2016), *In vitro method for estimating in vivo protein digestibility*. World Intellectual Property Organization WO 2016/115249 A1.

- ◆ van der Pols-Vijlbrief, Rachel, Hanneke A H Wijnhoven, Laura A Schaap, Caroline B Terwee, y Marjolein Visser (2014), «Determinants of Protein-Energy Malnutrition in Community-Dwelling Older Adults: A Systematic Review of Observational Studies.», *Ageing Research Reviews* 18 (noviembre): 112-131. doi:10.1016/j.arr.2014.09.001.
- ◆ Puente, Mariana, y Óscar Gavilánez (2018), *Programación lineal para la toma de decisiones*. [http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/pdf/58/58 Libro Programación Lineal final.pdf](http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/pdf/58/58%20Libro%20Programaci3n%20Lineal%20final.pdf).
- ◆ Quetglás, Gregorio Martín, Francisco Toledo-Lobo, y Vicente Cerverón-Lleo (1995), *Fundamentos de informática y programación*. Valencia.
- ◆ Rajput, Sanjeev, y Naresh Thakur (2016), «Sedimentation Pattern», En , 69-106. doi:10.1016/B978-0-12-802020-3.00003-5.
- ◆ Reagan-Shaw, Shannon, Minakshi Nihal, y Nihal Ahmad (2008), «Dose translation from animal to human studies revisited», *FASEB Journal* 22 (3): 659-661. doi:10.1096/fj.07-9574LSF.
- ◆ Render, B, M Stair, y M Hanna (2006), «Aplicaciones de programación lineal», En *Métodos cuantitativos para los negocios*.
- ◆ Richardson, J. F., y J. H. Harker (2002), «Chemical engineering-Volume 2: Particle Technology and Separation Processes», *Chemical Engineering Science*. doi:10.1016/0009-2509(60)80030-9.
- ◆ Rodríguez, Pablo, y Elevina Pérez (2015), «Effect of thermal treatment on content of amino acids of two clones of banana flours», *Revista ION* 28 (1): 55-62.
- ◆ Rosado, J. L., J. Rivera, G. Lopez, L. Solano, G. Rodriguez, E. Casanueva, A. Garcia-Aranda, G. Toussaint, y I. Maulen (1999), «Desarrollo y evaluacion de suplementos alimenticios para el Programa de Educacion, Salud y Alimentacion», *Salud Publica de Mexico* 41 (3): 153-162.
- ◆ Rutherford, Shane M, Aaron C Fanning, Bruce J Miller, y Paul J Moughan (2015), «Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores and Digestible Indispensable Amino Acid Scores Differentially Describe Protein Quality in Growing Male Rats», *The Journal of Nutrition* 145 (2): 372-379. doi:10.3945/jn.114.195438.
- ◆ Ruz, JJ (2019), *Tema 4 : Programación lineal con variables continuas : método Simplex*. Universidad Complutense de Madrid.
- ◆ Sanderson, G R (1990), «Gellan Gum BT - Food Gels», En , ed. Peter Harris, 201-232. Dordrecht. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-009-0755-3\_6. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0755-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0755-3_6).
- ◆ Santiago-Torres, Margarita, Lesley F Tinker, Matthew A Allison, Kara L Brey Meyer, Lorena Garcia, Candyce H Kroenke, Johanna W Lampe, James M Shikany, Linda Van Horn, y Marian L Neuhauser (2015), «Development and Use of a Traditional Mexican Diet Score in Relation to Systemic Inflammation and Insulin Resistance among Women of Mexican Descent.», *The Journal of Nutrition* 145 (12) (diciembre): 2732-2740. doi:10.3945/jn.115.213538.
- ◆ Sanvicente, Magali (2018), «Desarrollo de suplementos de proteína vegetal para personas con síndrome de malabsorción». Tesis de Licenciatura Química de Alimentos UNAM.
- ◆ Satusap, Pruet, Visith Chavasit, Wantanee Kriengsinyos, y Kunchit Judprasong (2014), «Development of cereal and legume based food products for the elderly», *SpringerPlus* 3 (1): 1-8. doi:10.1186/2193-1801-3-451.
- ◆ Schaafsma, G (2000), «The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score.», *The Journal of Nutrition* 130 (7) (julio): 1865S-7S. doi:10.1093/jn/130.7.1865S.
- ◆ Schaafsma, Gertjan (2005), «The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)—a Concept for Describing Protein Quality in Foods and Food Ingredients: A Critical Review.», *Journal of AOAC International* 88 (3): 988-994.

- ◆ Schmidl, Mary K., y Theodore P. Labuza (2000), *Essentials of functional foods*. Minnesota. Springer US. doi:10.1016/s0958-6946(00)00113-8.
- ◆ Secretaría de Salud (2007), *Ley General de Salud*. México. SSA. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- ◆ Secretaría de Salud (2008), «Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de». CDMX. Diario Oficial de la Federación.
- ◆ Seuss-Baum, I., F. Nau, y C. Guérin-Dubiard (2011), «The nutritional quality of eggs», *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products 2*: 201-236. doi:10.1533/9780857093929.3.201.
- ◆ Shankar, A. Siva, Ch.V.V. Satyanarayana, Sajid Alavi, L. Edukondalu, Michael Joseph, y R. Lakshmi pathy (2018), «Study on Cereal-Legume Based Complementary Foods for Infants», *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7* (08): 3310-3317. doi:10.20546/ijcmas.2018.708.354.
- ◆ Sharma, Madhu, Eleana Kristo, Milena Corredig, y Lisa Duizer (2017), «Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures», *Food Hydrocolloids 63*: 478-487. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.09.040. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.040>.
- ◆ Shetty, Prakash (2019), «Malnutrition and undernutrition», En *Medicine (United Kingdom)*, ed. John Saunders, Trevor Smith, y Mike Stroud, 47:152-158. doi:10.1016/j.mpmed.2018.12.012.
- ◆ Soriano del Castillo, José Miguel (2010), *Nutrición y Cooperación al Desarrollo*. Valencia. Universidad de Valencia.
- ◆ Sosa-Sánchez, Ricardo, Karla Sánchez-Lara, Dan Green-Renner, y Daniel Motola-Kuba (2008), «Síndrome de anorexia-caquexia en el paciente oncológico», *Gac Méd Méx 144* (5): 435-440.
- ◆ SSA (1994), «Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua Para Uso Y Consumo Humano-Limites Permisibles De Calidad Y Tratamientos A Que Debe Someterse El Agua Para Su Potabilizacion»». CDMX. Diario Oficial de la Federación.
- ◆ Stone, Herbert (2012), *Sensory Evaluation Practices, Sensory Evaluation Practices*. doi:10.1016/C2009-0-63404-8.
- ◆ Suárez López, M. M., A. Kizlansky, y L. B. López (2006), «Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad», *Nutricion Hospitalaria 21* (1): 47-51.
- ◆ Suri, Devika J., Denish Moorthy, y Irwin H. Rosenberg (2016), «The Role of Dairy in Effectiveness and Cost of Treatment of Children with Moderate Acute Malnutrition», *Food and Nutrition Bulletin 37* (2): 176-185. doi:10.1177/0379572116633327.
- ◆ Suri, Devika J., Kwaku Tano-Debrah, y Shibani A. Ghosh (2014), «Optimization of the nutrient content and protein quality of cereal-legume blends for use as complementary foods in Ghana», *Food and Nutrition Bulletin 35* (3): 372-381. doi:10.1177/156482651403500309.
- ◆ Thanapornpoonpong, Sa Nguansak, Suchada Vearasilp, Elke Pawelzik, y Shela Gorinstein (2008), «Influence of various nitrogen applications on protein and amino acid profiles of amaranth and quinoa», *Journal of Agricultural and Food Chemistry 56* (23): 11464-11470. doi:10.1021/jf802673x.
- ◆ Tijhuis, Mariken J., Janine Ezendam, Susanne Westenbrink, Caroline van Rossum, y Liesbeth Temme (2011), «Replacement of meat and dairy by more sustainable protein sources in the Netherlands. Quality of the diet.», *National Institute for Public Health and the Environment. Ministry of Health, Welfare and Sport*: 15-40. doi:RIVM Letter Report 350123001/2011.
- ◆ Tomé, Daniel (2013), «Digestibility issues of vegetable versus animal proteins: Protein and amino acid requirements-functional aspects», *Food and Nutrition Bulletin 34* (2): 272-274. doi:10.1177/156482651303400225.



- ◆ Tomic, O, I Berget, y T Næs (2015), «A comparison of generalised procrustes analysis and multiple factor analysis for projective mapping data», *Food Quality and Preference* 43: 34-46.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.02.004>.  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095032931500035X>.
- ◆ Toussaint, Georgina, y José Alberto García-Aranda (2010), *Desnutrición Energético-Proteínica*. 1era ed. España.
- ◆ Toxtle, G (2020), «Uso del mucílago de nopal *Opuntia ficus Indica* como dispersante de suplementos alimentarios». Tesis de Licenciatura Química de Alimentos UNAM.
- ◆ Trejo, Raúl, y Juan Darío Vazquez (2011), «Desarrollo y aplicación de la metodología para ensayos reológicos de fluidos de perforación a condiciones de alta presión y alta temperatura .» Tesis de Licenciatura Ingeniería Petrolera UNAM.
- ◆ Troesch, Barbara, Hans K. Biesalski, Rolf Bos, Erik Buskens, Philip C. Calder, Wim H.M. Saris, Jörg Spieldenner, Henkjan J. Verkade, Peter Weber, y Manfred Eggersdorfer (2015), «Increased intake of foods with high nutrient density can help to break the intergenerational cycle of malnutrition and obesity», *Nutrients* 7 (7): 6016-6037. doi:10.3390/nu7075266.
- ◆ Tuso, Phillip, Scott R. Stoll, y William W. Li (2015), «A plant-based diet, atherogenesis, and coronary artery disease prevention», *The Permanente journal* 19 (1): 62-67. doi:10.7812/TPP/14-036.
- ◆ Tütüncü, M.Ahmet, y T P Labuza (1996), «Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient», *Journal of Food Engineering* 30 (3): 433-447.  
doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00028-3).  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877496000283>.
- ◆ UNICEF/WHO/WBG (2018), «Levels and trends in child malnutrition 2018», *Joint Child Malnutrition Estimates 2018 edition*: 1-15. doi:10.1016/S0266-6138(96)90067-4.  
<http://www.who.int/nutgrowthdb/estimates2017/en/>.
- ◆ UNICEF DIPR (2016), *The Global Nutrition Report, 2016, UNICEF*. Reino Unido.
- ◆ UNU (1979), «Supplementary effect of beans for cereal grains and starchy foods», *Food and Nutrition Bulletin* 1 (4).
- ◆ Väkeväinen, Kati, Jessica Hernández, Anna Inkeri Simontaival, Patricia Severiano-Pérez, Gloria Díaz-Ruiz, Atte von Wright, Carmen Wachter-Rodarte, y Carme Plumed-Ferrer (2020), «Effect of different starter cultures on the sensory properties and microbiological quality of Atole agrio, a fermented maize product», *Food Control* 109 (June 2019). doi:10.1016/j.foodcont.2019.106907.
- ◆ Vazquez-Gómez, Juan Bernardo (2012), *Análisis y diseño de algoritmos*. Estado de México. Red Tercer Milenio SC.
- ◆ Velázquez, Esperanza (2019), «Estandarización de la cocción y deshidratación de legumbres para la obtención de harinas para suplementos». Tesis de Licenciatura Química de Alimentos UNAM.
- ◆ Walton, Emily, y Stephen Allen (2011), «Malnutrition in developing countries», *Paediatrics and Child Health* 21 (9): 418-424. doi:10.1016/j.paed.2011.04.004.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.paed.2011.04.004>.
- ◆ Waterlow, John C (1996), «Malnutrición proteico-energética», *Publicación Científica* 555: 2006-2010.
- ◆ Webb, Patrick, Gunhild Anker Stordalen, Sudhvir Singh, Ramani Wijesinha-Bettoni, Prakash Shetty, y Anna Lartey (2018), «Hunger and malnutrition in the 21st century», *BMJ (Online)* 361: 1-5.  
doi:10.1136/bmj.k2238.
- ◆ White, Jane V., Peggi Guenter, Gordon Jensen, Ainsley Malone, y Marsha Schofield (2012), «Consensus statement: Academy of nutrition and dietetics and American society for parenteral and enteral nutrition: Characteristics recommended for the identification and documentation of adult malnutrition (undernutrition)», *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 36 (3): 275-283.  
doi:10.1177/0148607112440285.

- ◆ Williams, Patrick D, Lisa N Sadar, y Y Martin Lo (2009), «Texture stability of hydrogel complex containing curdlan gum over multiple freeze–thaw cycles», *Journal of Food Processing and Preservation* 33 (1) (febrero 1): 126-139. doi:10.1111/j.1745-4549.2009.00364.x. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00364.x>.
- ◆ Yang, Ming, Zhaojing Huang, Jing Chen, Jiaojiao Jiang, Yun Zuo, y Qiukui Hao (2018), «Applications of the new ESPEN definition of malnutrition and SARC-F in Chinese nursing home residents», *Scientific Reports* 8 (1): 1-9. doi:10.1038/s41598-018-33350-w.
- ◆ Young, A K, Jean Ne Cheong, Kylie D Foster, Duncan I Hedderley, Marco P Morgenstern, y Bryony J James (2016), «Exploring the Links Between Texture Perception and Bolus Properties Throughout oral Processing. Part 1: Breakdown Paths», *Journal of Texture Studies* 47 (6) (diciembre 1): 461-473. doi:10.1111/jtxs.12185. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12185>.
- ◆ Young, NGW, y GR O’Sullivan (2011), «5 - The influence of ingredients on product stability and shelf life», En *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, ed. David Kilcast y Persis B T - Food and Beverage Stability and Shelf Life Subramaniam, 132-183. Woodhead Publishing. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857092540.1.132>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845697013500050>.
- ◆ Young, Vernon R., y Sudhir Borgonha (2000), «Nitrogen and Amino Acid Requirements: The Massachusetts Institute of Technology Amino Acid Requirement Pattern», *The Journal of Nutrition* 130 (7): 1841S-1849S. doi:10.1093/jn/130.7.1841s.
- ◆ Ysunza-Ogazon, A, S Diez-Urdanivia-Coria, y L Lopez-Nunez (1993), «[A program of community action research on migration and nutrition].», *Salud publica de Mexico* 35 (6): 569-575.
- ◆ Yust, María M, Justo Pedroche, Julio Girón-Calle, Javier Vioque, Francisco Millán, y Manuel Alaiz (2004), «Determination of tryptophan by high-performance liquid chromatography of alkaline hydrolysates with spectrophotometric detection», *Food Chemistry* 85 (2): 317-320. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.07.026>. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814603003765>.
- ◆ Zhu, Bo, Xinwei Cao, Jianli Liu, y Weidong Gao (2019), «Effects of different drying methods on physicochemical and sizing properties of granular cold water swelling starch», *Textile Research Journal* 89 (5): 762-770. doi:10.1177/0040517518755786.

## ANEXO 1 Elaboración del suplemento alimenticio



Figura 31. Diagrama de elaboración del suplemento alimenticio.

## ANEXO 2 Cálculo de curvas de secado

1) Se obtiene el tiempo de secado en min y el promedio de la masa de 10 muestras en kg.

*Cuadro 10. 1 Tiempos de secado y masa obtenida*

| hora  | tiempo (h) | tiempo (min) | tiempo (s) | Promedio $m_i$ (g) | promedio (kg) |
|-------|------------|--------------|------------|--------------------|---------------|
| 00:00 | 0.0000     | 0.0000       | 0.0000     | <b>1.1040</b>      | 0.0011        |
| 00:10 | 0.1667     | 10.0000      | 600.0000   | <b>1.0120</b>      | 0.0010        |
| 00:20 | 0.3333     | 20.0000      | 1200.0000  | <b>0.9080</b>      | 0.0009        |
| 00:30 | 0.5000     | 30.0000      | 1800.0000  | <b>0.9020</b>      | 0.0009        |
| 00:40 | 0.6667     | 40.0000      | 2400.0000  | <b>0.8440</b>      | 0.0008        |
| 00:50 | 0.8333     | 50.0000      | 3000.0000  | <b>0.7860</b>      | 0.0008        |
| 01:00 | 1.0000     | 60.0000      | 3600.0000  | <b>0.6920</b>      | 0.0007        |
| 01:10 | 1.1667     | 70.0000      | 4200.0000  | <b>0.6500</b>      | 0.0007        |
| 01:20 | 1.3333     | 80.0000      | 4800.0000  | <b>0.6080</b>      | 0.0006        |
| 01:30 | 1.5000     | 90.0000      | 5400.0000  | <b>0.5400</b>      | 0.0005        |
| 01:40 | 1.6667     | 100.0000     | 6000.0000  | <b>0.5060</b>      | 0.0005        |
| 01:50 | 1.8333     | 110.0000     | 6600.0000  | <b>0.4780</b>      | 0.0005        |
| 02:00 | 2.0000     | 120.0000     | 7200.0000  | <b>0.4520</b>      | 0.0005        |
| 02:10 | 2.1667     | 130.0000     | 7800.0000  | <b>0.4240</b>      | 0.0004        |
| 02:20 | 2.3333     | 140.0000     | 8400.0000  | <b>0.4120</b>      | 0.0004        |
| 02:30 | 2.5000     | 150.0000     | 9000.0000  | <b>0.3780</b>      | 0.0004        |
| 02:40 | 2.6667     | 160.0000     | 9600.0000  | <b>0.3730</b>      | 0.0004        |
| 02:50 | 2.8333     | 170.0000     | 10200.0000 | <b>0.3680</b>      | 0.0004        |
| 03:00 | 3.0000     | 180.0000     | 10800.0000 | <b>0.3530</b>      | 0.0004        |
| 03:10 | 3.1667     | 190.0000     | 11400.0000 | <b>0.3380</b>      | 0.0003        |
| 03:20 | 3.3333     | 200.0000     | 12000.0000 | <b>0.3340</b>      | 0.0003        |
| 03:30 | 3.5000     | 210.0000     | 12600.0000 | <b>0.3280</b>      | 0.0003        |
| 03:40 | 3.6667     | 220.0000     | 13200.0000 | <b>0.3260</b>      | 0.0003        |
| 03:50 | 3.8333     | 230.0000     | 13800.0000 | <b>0.3120</b>      | 0.0003        |
| 04:00 | 4.0000     | 240.0000     | 14400.0000 | <b>0.2980</b>      | 0.0003        |
| 04:10 | 4.1667     | 250.0000     | 15000.0000 | <b>0.2930</b>      | 0.0003        |
| 04:20 | 4.3333     | 260.0000     | 15600.0000 | <b>0.2880</b>      | 0.0003        |
| 04:30 | 4.5000     | 270.0000     | 16200.0000 | <b>0.2830</b>      | 0.0003        |
| 04:40 | 4.6667     | 280.0000     | 16800.0000 | <b>0.2780</b>      | 0.0003        |
| 04:50 | 4.8333     | 290.0000     | 17400.0000 | <b>0.2780</b>      | 0.0003        |
| 05:00 | 5.0000     | 300.0000     | 18000.0000 | <b>0.2760</b>      | 0.0003        |
| 05:10 | 5.1667     | 310.0000     | 18600.0000 | <b>0.2720</b>      | 0.0003        |
| 05:15 | 5.2500     | 315.0000     | 18900.0000 | <b>0.2660</b>      | 0.0003        |
| 05:20 | 5.3333     | 320.0000     | 19200.0000 | <b>0.2640</b>      | 0.0003        |
| 05:30 | 5.5000     | 330.0000     | 19800.0000 | <b>0.2600</b>      | 0.0003        |

2) Se obtiene la masa de agua (kg) restando la masa de sólidos secos ( $m_{ss}$ ) que corresponde a:

$$[22] m_{ss} = 100 - \%H_f * m_f$$

$$[23] m_{H_2O} = m_i - m_{ss}$$

3) Se obtiene la masa de agua (kg) relativa a los sólidos secos dividiendo  $m_{H_2O}/m_{ss}$ .

4) Con ello se puede graficar la primera curva de secado al graficar  $m_{H_2O}/m_{ss}$  vs tiempo.

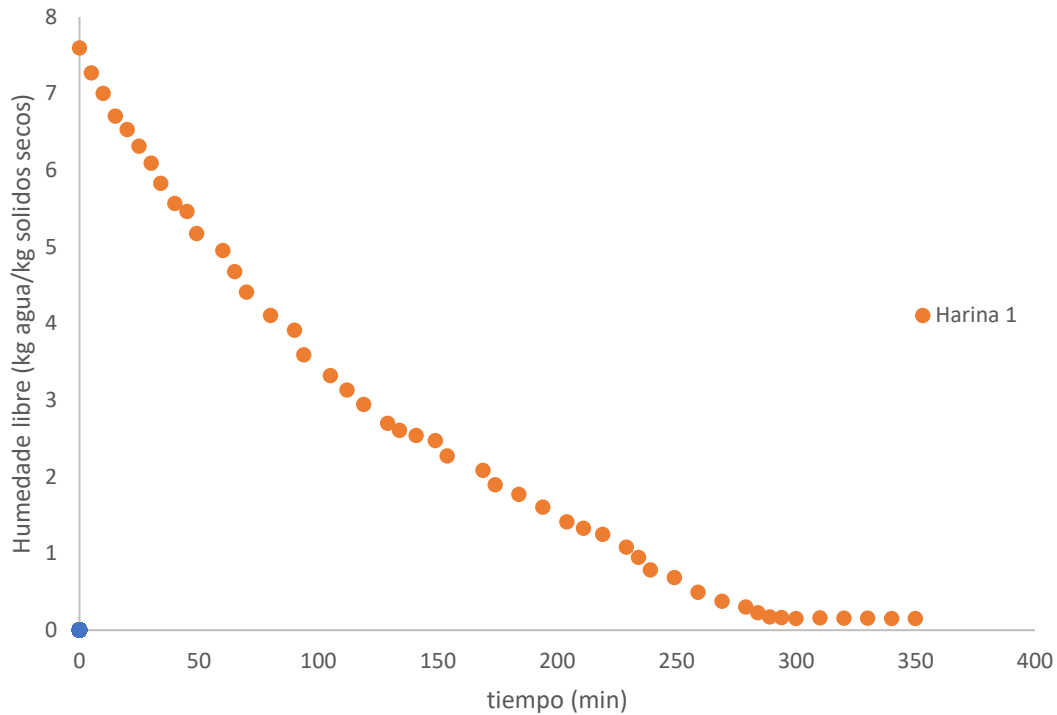


Figura 32. Ejemplo de la primera curva de secado.

5) Se obtiene la humedad al equilibrio correspondiente al promedio de  $x_i$  al final de la curva

6) Se obtiene la relación de humedad libre e inicial como:

$$[24] \frac{x_i - x_{eq}}{x_0 - x_{eq}}$$

7) Se obtiene el logaritmo natural de esta división y se grafica con respecto al tiempo (s).

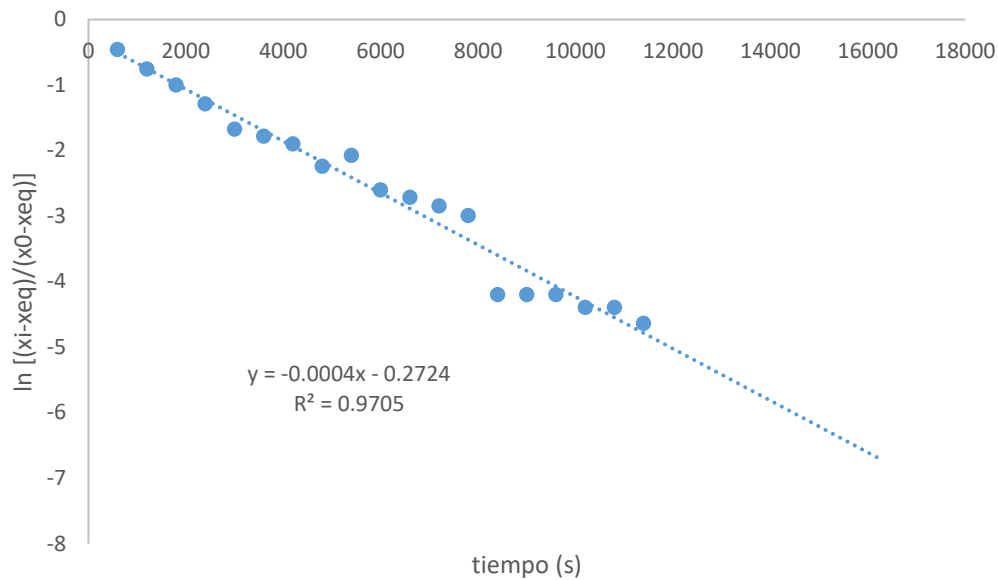


Figura 33. Gráfica de difusividad efectiva.

8) De la regresión lineal de este modelo se obtiene la pendiente para calcular la difusividad efectiva, tal como se muestra en la ecuación [9], donde la dimensión característica corresponde a la mitad de aquella que limita la transferencia de energía.

9) Para la segunda curva de secado se grafican los valores de la diferencia de humedad relativa a los sólidos secos a lo largo del tiempo como la diferencia entre cada intervalo de 10 min. Posteriormente estos valores se multiplican por la relación entre la masa de sólidos secos y el área, (que es calculada mediante una aproximación conforme a la forma y medidas de cada muestra) y tal como se muestra en la ecuación [10] se obtiene la relación.

Cuadro 10. 2 Ejemplo de relación de masa de agua/masa de sólidos secos y tiempo para la segunda curva de secado.

| kg agua/kg solidos | tiempo h | dx/dt       | dx/dt *mss/As |
|--------------------|----------|-------------|---------------|
| 3.4305             | 0.0000   | N/A         | N/A           |
| 3.0613             | 0.1667   | 4.719404135 | 7.8100        |
| 2.6439             | 0.3333   | 2.648645178 | 4.3832        |
| 2.6198             | 0.5000   | 1.541029922 | 2.5502        |
| 2.3871             | 0.6667   | 2.793116733 | 4.6223        |
| 2.1543             | 0.8333   | 3.659946064 | 6.0568        |
| 1.7771             | 1.0000   | 3.274688584 | 5.4192        |

10) Posteriormente se grafica la relación de humedad vs el tiempo hasta alcanzar el periodo de secado crítico.

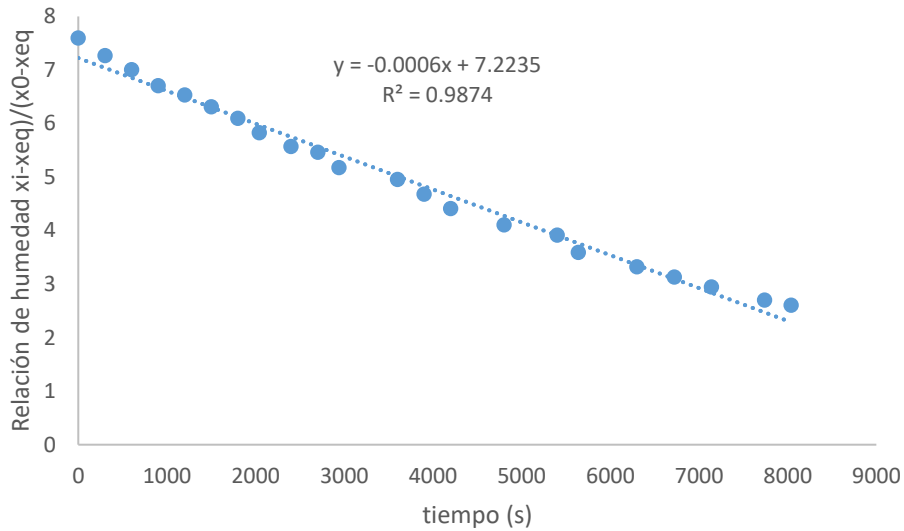
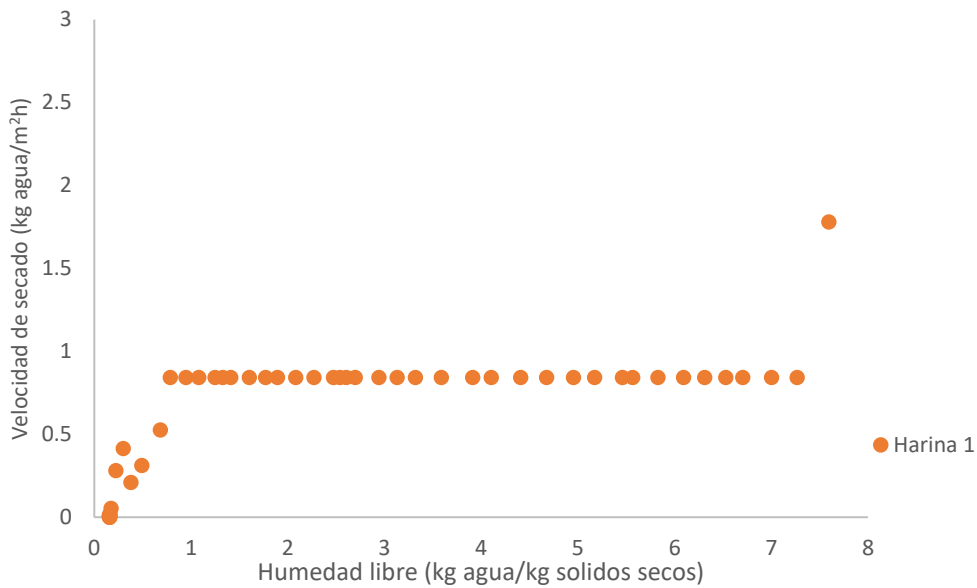


Figura 34. Curva de velocidad de secado respecto al tiempo.

11) Con esta pendiente se calcula la velocidad en el periodo de secado constante, al sustituir los valores de  $dx/dt$  para posteriormente graficar la segunda curva de secado graficando la velocidad de secado vs la humedad libre y poder calcular el tiempo total de secado como indica la ecuación [11].



## ANEXO 3 Cuestionario de evaluación sensorial

### Snacks de proteína

El día de hoy estamos realizando un estudio sobre snacks de proteína y nos gustaría contar con su opinión. ¿Sería tan amable de permitirme hacerle unas breves preguntas? le recuerdo que su opinión es muy importante para el estudio que estamos realizando.

\*Obligatorio

**Edad \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**Género \***

Mujer

Hombre

Otro: \_\_\_\_\_

**¿Ha consumido bites de proteína? \***

Sí

No

**De ser así, ¿Con qué frecuencia acostumbra a consumir bites de proteína?**

Diario

De 4 a 6 veces por semana

De 1 a 3 veces por semana

Una vez cada dos semanas

Una vez al mes

Menos de una vez al mes

**EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS**

Frente a usted se presentan cuatro muestras de snacks de proteína. Inicie probando una a una, las muestras de izquierda a derecha y arriba a abajo (en forma de Z) e indique cuánto le gusta la muestra con base en los atributos de sabor, textura, resabio y el producto en general. ENJUAGUESE con agua al terminar de evaluar cada muestra.

**Indique el código del primer producto a evaluar \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**Indique qué tanto le gusta el producto para cada atributo. \***

|            | Me disgusta muchísimo | Me disgusta mucho     | Me disgusta un poco   | Ni me gusta ni me disgusta | Me gusta un poco      | Me gusta mucho        | Me gusta muchísimo    |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Sabor      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Textura    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Resabio    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| En general | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

**Indique el código del segundo producto a evaluar \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**¿Cuáles son las principales fuentes de proteína en su dieta? \***

Lácteos

Huevo

Cárnicos

Cereales

Legumbres

Hongos

Otros

**De las siguientes fuentes de proteína, ¿cuáles asocia a un estado nutricional adecuado? \***

Lácteos

Huevo

Cárnicos

Cereales

Legumbres

Hongos

Otros

**Mencione los principales alimentos de origen no animal y ricos en proteína que conoce. \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

[Siguiente](#) Página 1 de 3

**Ordene los productos evaluados con base en su preferencia de mayor a menor, indicando su código.**

**Indique el código del producto de su muestra preferida \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**Indique el código del producto de su segunda muestra preferida \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**Indique el código del producto de su tercera muestra preferida \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**Indique el código del producto de su cuarta muestra preferida \***

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**¿Incluiría el snack de proteína que más le agradó en su dieta? \***

Sí

No

Tal vez

**¿Considera importante el conocer que este producto presenta alta calidad de proteínas de origen no animal para su decisión de compra? \***

Sí

No

Figura 36. Cuestionario de evaluación sensorial.



## ANEXO 4 Análisis estadístico de materia prima

### a) Humedad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 95.007                | 10.556                 | 15.749 | < 0.0001 |
| Error           | 20  | 13.406                | 0.670                  |        |          |
| Total corregido | 29  | 108.413               |                        |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |   |
|-----------|----------------|--------|---|---|
| 8         | 9.377          | A      |   |   |
| 2         | 9.253          | A      |   |   |
| 1         | 8.877          | A      |   |   |
| 5         | 7.157          | A      | B |   |
| 9         | 6.470          |        | B | C |
| 7         | 6.080          |        | B | C |
| 3         | 5.943          |        | B | C |
| 4         | 5.670          |        | B | C |
| 6         | 4.637          |        |   | C |
| 10        | 4.103          |        |   | C |

### b) aw

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 0.152                 | 0.017                  | 18.084 | < 0.0001 |
| Error           | 20  | 0.019                 | 0.001                  |        |          |
| Total corregido | 29  | 0.170                 |                        |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |   |   |
|-----------|-------------------|--------|---|---|---|---|
| 8         | 0.428             | A      |   |   |   |   |
| 2         | 0.331             |        | B |   |   |   |
| 4         | 0.317             |        | B | C |   |   |
| 9         | 0.301             |        | B | C |   |   |
| 7         | 0.283             |        | B | C | D |   |
| 5         | 0.282             |        | B | C | D |   |
| 6         | 0.282             |        | B | C | D |   |
| 3         | 0.235             |        |   | C | D | E |
| 10        | 0.196             |        |   |   | D | E |
| 1         | 0.158             |        |   |   |   | E |

c) %Sedimentación

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los<br>cuadrados | Media de los<br>cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|--------------------------|---------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 0.152                    | 0.017                     | 31.947 | < 0.0001 |
| Error           | 10  | 0.005                    | 0.001                     |        |          |
| Total corregido | 19  | 0.158                    |                           |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |
|-----------|-------------------|--------|---|---|
| 3         | 27.6              | A      |   |   |
| 4         | 23.3              | A      | B |   |
| 5         | 23.0              | A      | B |   |
| 9         | 22.9              | A      | B |   |
| 2         | 17.5              |        | B |   |
| 8         | 16.1              |        | B |   |
| 10        | 15.8              |        | B |   |
| 1         | 5.5               |        |   | C |
| 7         | 5.5               |        |   | C |
| 6         | 0.0               |        |   | C |

d) densidad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F        | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|----------|----------|
| Modelo          | 9   | 0.924                 | 0.103                  | 1294.385 | < 0.0001 |
| Error           | 20  | 0.002                 | 0.000                  |          |          |
| Total corregido | 29  | 0.926                 |                        |          |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |   |   |   |   |   |
|-----------|----------------|--------|---|---|---|---|---|---|
| 3         | 0.722          | A      |   |   |   |   |   |   |
| 5         | 0.536          |        | B |   |   |   |   |   |
| 9         | 0.481          |        |   | C |   |   |   |   |
| 8         | 0.462          |        |   | C | D |   |   |   |
| 10        | 0.451          |        |   |   | D |   |   |   |
| 4         | 0.444          |        |   |   | D |   |   |   |
| 7         | 0.312          |        |   |   |   | E |   |   |
| 2         | 0.297          |        |   |   |   | E |   |   |
| 6         | 0.204          |        |   |   |   |   | F |   |
| 1         | 0.062          |        |   |   |   |   |   | G |

e) sólidos solubles en agua

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F       | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|---------|----------|
| Modelo          | 9   | 9467.658              | 1051.962               | 384.172 | < 0.0001 |
| Error           | 20  | 54.765                | 2.738                  |         |          |
| Total corregido | 29  | 9522.423              |                        |         |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |   |
|-----------|-------------------|--------|---|---|---|
| 1         | 55.761            | A      |   |   |   |
| 7         | 53.896            | A      |   |   |   |
| 6         | 32.468            |        | B |   |   |
| 10        | 28.922            |        | B |   |   |
| 4         | 16.501            |        |   | C |   |
| 9         | 13.448            |        |   | C | D |
| 5         | 12.954            |        |   | C | D |
| 8         | 9.671             |        |   |   | D |
| 3         | 9.542             |        |   |   | D |
| 2         | 2.663             |        |   |   | E |

f) Espacio de color L

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los<br>cuadrados | Media de los<br>cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|--------------------------|---------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 5642.668                 | 626.963                   | 75.741 | < 0.0001 |
| Error           | 20  | 165.555                  | 8.278                     |        |          |
| Total corregido | 29  | 5808.223                 |                           |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |   |
|-----------|-------------------|--------|---|---|---|
| 2         | 95.773            | A      |   |   |   |
| 10        | 92.983            | A      | B |   |   |
| 8         | 92.643            | A      | B |   |   |
| 6         | 91.943            | A      | B |   |   |
| 9         | 90.500            | A      | B |   |   |
| 5         | 88.077            | A      | B |   |   |
| 1         | 85.273            |        | B | C |   |
| 4         | 79.690            |        |   | C | D |
| 3         | 74.987            |        |   |   | D |
| 7         | 47.073            |        |   |   | E |

g) Espacio de color a

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 648.111               | 72.012                 | 97.868 | < 0.0001 |
| Error           | 20  | 14.716                | 0.736                  |        |          |
| Total corregido | 29  | 662.828               |                        |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |
|-----------|----------------|--------|---|
| 1         | 1.853          | A      |   |
| 6         | -1.617         | B      |   |
| 3         | -1.847         | B      |   |
| 4         | -2.150         | B      |   |
| 2         | -2.960         | B      |   |
| 8         | -3.260         | B      | C |
| 9         | -3.417         | B      | C |
| 10        | -4.077         | B      | C |
| 5         | -5.520         |        | C |
| 7         | -16.797        |        | D |

h) Espacio de color b

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 2131.034              | 236.782                | 38.835 | < 0.0001 |
| Error           | 20  | 121.944               | 6.097                  |        |          |
| Total corregido | 29  | 2252.978              |                        |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |   |   |   |
|-----------|-------------------|--------|---|---|---|---|---|
| 5         | 44.397            | A      |   |   |   |   |   |
| 7         | 41.550            | A      | B |   |   |   |   |
| 3         | 35.263            |        | B | C |   |   |   |
| 9         | 35.127            |        | B | C |   |   |   |
| 1         | 30.450            |        |   | C | D |   |   |
| 6         | 28.803            |        |   | C | D |   |   |
| 8         | 28.720            |        |   | C | D |   |   |
| 10        | 25.233            |        |   |   | D | E |   |
| 2         | 18.900            |        |   |   |   | E | F |
| 4         | 16.983            |        |   |   |   |   | F |

i) Índice de consistencia

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 253062.897            | 28118.100              | 33.045 | < 0.0001 |
| Error           | 10  | 8509.148              | 850.915                |        |          |
| Total corregido | 19  | 261572.044            |                        |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |  |  |  |
|-----------|-------------------|--------|---|---|--|--|--|
| 1         | 351.075           | A      |   |   |  |  |  |
| 7         | 190.475           |        | B |   |  |  |  |
| 6         | 112.345           |        | B | C |  |  |  |
| 8         | 14.284            |        |   | C |  |  |  |
| 4         | 6.208             |        |   | C |  |  |  |
| 5         | 0.857             |        |   | C |  |  |  |
| 2         | 0.684             |        |   | C |  |  |  |
| 10        | 0.532             |        |   | C |  |  |  |
| 9         | 0.503             |        |   | C |  |  |  |
| 3         | 0.302             |        |   | C |  |  |  |

j) límite elástico

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 9   | 41678.250             | 4630.917               | 39.021 | < 0.0001 |
| Error           | 10  | 1186.761              | 118.676                |        |          |
| Total corregido | 19  | 42865.011             |                        |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |
|-----------|-------------------|--------|
| 1         | 132.650           | A      |
| 7         | 99.095            | A      |
| 6         | 23.800            | B      |
| 8         | 15.950            | B      |
| 10        | 0.321             | B      |
| 2         | 0.044             | B      |
| 4         | 0.038             | B      |
| 9         | 0.035             | B      |
| 5         | 0.035             | B      |
| 3         | 0.018             | B      |

k) Ángulo de fase a bajas frecuencias

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F       | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|---------|----------|
| Modelo          | 9   | 2710.656              | 301.184                | 110.942 | < 0.0001 |
| Error           | 10  | 27.148                | 2.715                  |         |          |
| Total corregido | 19  | 2737.804              |                        |         |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |   |   |   |
|-----------|----------------|--------|---|---|---|---|
| 5         | 39.917         | A      |   |   |   |   |
| 3         | 39.917         | A      |   |   |   |   |
| 2         | 34.795         | A      | B |   |   |   |
| 4         | 29.155         |        | B | C |   |   |
| 9         | 25.440         |        |   | C | D |   |
| 10        | 20.727         |        |   |   | D | E |
| 6         | 17.207         |        |   |   |   | E |
| 8         | 11.311         |        |   |   |   | F |
| 7         | 8.761          |        |   |   |   | G |
| 1         | 8.014          |        |   |   |   | G |

## ANEXO 5 Análisis estadístico producto en polvo

a) Humedad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 7.083                 | 2.361                  | 8.160 | 0.008  |
| Error           | 8   | 2.315                 | 0.289                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 9.397                 |                        |       |        |

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |
|-----------|----------------|--------|---|
| 3         | 6.593          | A      |   |
| 4         | 6.160          | A      | B |
| 2         | 4.983          |        | B |
| 1         | 4.773          |        | B |

b) aw

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 3   | 0.011                 | 0.004                  | 31.269 | < 0.0001 |
| Error           | 8   | 0.001                 | 0.000                  |        |          |
| Total corregido | 11  | 0.011                 |                        |        |          |

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$



## DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |
|-----------|-------------------|--------|---|---|
| 1         | 0.439             | A      |   |   |
| 2         | 0.391             |        | B |   |
| 4         | 0.382             |        | B | C |
| 3         | 0.357             |        |   | C |

c) densidad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los<br>cuadrados | Media de los<br>cuadrados | F      | Pr > F   |
|-----------------|-----|--------------------------|---------------------------|--------|----------|
| Modelo          | 3   | 0.033                    | 0.011                     | 50.766 | < 0.0001 |
| Error           | 8   | 0.002                    | 0.000                     |        |          |
| Total corregido | 11  | 0.034                    |                           |        |          |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$* 

## DMSH

| Categoría | Media<br>estimada | Grupos |   |   |
|-----------|-------------------|--------|---|---|
| 1         | 0.426             | A      |   |   |
| 3         | 0.336             |        | B |   |
| 2         | 0.309             |        | B | C |
| 4         | 0.291             |        |   | C |

d) sólidos solubles en agua

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los<br>cuadrados | Media de los<br>cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|--------------------------|---------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 334.452                  | 111.484                   | 2.495 | 0.134  |
| Error           | 8   | 357.445                  | 44.681                    |       |        |
| Total corregido | 11  | 691.898                  |                           |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

e) espacio de color L

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 66.008                | 22.003                 | 0.492 | 0.698  |
| Error           | 8   | 357.764               | 44.720                 |       |        |
| Total corregido | 11  | 423.771               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

f) espacio de color a

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 5.471                 | 1.824                  | 3.397 | 0.074  |
| Error           | 8   | 4.295                 | 0.537                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 9.766                 |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

g) espacio de color b

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 228.500               | 76.167                 | 7.652 | 0.010  |
| Error           | 8   | 79.635                | 9.954                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 308.134               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |   |
|-----------|----------------|--------|---|---|
| 2         | 34.860         | A      |   |   |
| 1         | 33.857         | A      | B |   |
| 4         | 26.357         |        | B | C |
| 3         | 25.060         |        |   | C |

## ANEXO 6 Análisis estadístico producto listo para consumo

### a) Humedad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 7.581                 | 2.527                  | 7.278 | 0.011  |
| Error           | 8   | 2.778                 | 0.347                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 10.358                |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |
|-----------|----------------|--------|---|
| 3         | 48.733         | A      |   |
| 4         | 48.300         | A      | B |
| 2         | 47.123         |        | B |
| 1         | 46.820         |        | B |

### b) aw

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 0.004                 | 0.001                  | 6.267 | 0.017  |
| Error           | 8   | 0.002                 | 0.000                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 0.006                 |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |
|-----------|----------------|--------|---|
| 1         | 0.911          | A      |   |
| 2         | 0.909          | A      |   |
| 3         | 0.883          | A      | B |
| 4         | 0.867          |        | B |

c) Espacio de color L

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 66.008                | 22.003                 | 0.492 | 0.698  |
| Error           | 8   | 357.764               | 44.720                 |       |        |
| Total corregido | 11  | 423.771               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

d) Espacio de color a

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 18.866                | 6.289                  | 4.307 | 0.044  |
| Error           | 8   | 11.680                | 1.460                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 30.546                |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMS

| Categoría | Media estimada | Grupos |
|-----------|----------------|--------|
| 2         | 8.573          | A      |
| 3         | 8.553          | A      |
| 4         | 7.457          | A B    |
| 1         | 5.493          | B      |

e) Espacio de color b

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 70.950                | 23.650                 | 1.756 | 0.233  |
| Error           | 8   | 107.768               | 13.471                 |       |        |
| Total corregido | 11  | 178.718               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

## ANEXO 7 Análisis estadístico Perfil de Textura

### a) Dureza

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 7408.000              | 2469.333               | 0.572 | 0.649  |
| Error           | 8   | 34562.667             | 4320.333               |       |        |
| Total corregido | 11  | 41970.667             |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

### b) Adhesividad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 14.767                | 4.922                  | 4.526 | 0.039  |
| Error           | 8   | 8.700                 | 1.088                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 23.467                |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

### DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |
|-----------|----------------|--------|---|
| D         | 5.133          | A      |   |
| C         | 3.167          | A      | B |
| A         | 3.100          | A      | B |
| B         | 2.067          |        | B |

c) Dureza 2do ciclo

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 8787.667              | 2929.222               | 0.833 | 0.512  |
| Error           | 8   | 28117.333             | 3514.667               |       |        |
| Total corregido | 11  | 36905.000             |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

d) Elasticidad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 1.243                 | 0.414                  | 1.092 | 0.406  |
| Error           | 8   | 3.035                 | 0.379                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 4.278                 |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

e) Gomosidad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 5909.583              | 1969.861               | 5.261 | 0.027  |
| Error           | 8   | 2995.333              | 374.417                |       |        |
| Total corregido | 11  | 8904.917              |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |   |
|-----------|----------------|--------|---|
| B         | 111.667        | A      |   |
| D         | 63.667         | A      | B |
| C         | 63.000         | A      | B |
| A         | 56.000         |        | B |

f) Masticabilidad

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 3   | 4.030                 | 1.343                  | 7.361 | 0.011  |
| Error           | 8   | 1.460                 | 0.183                  |       |        |
| Total corregido | 11  | 5.490                 |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

DMSH

| Categoría | Media estimada | Grupos |
|-----------|----------------|--------|
| B         | 3.000          | A      |
| D         | 1.933          | A B    |
| C         | 1.833          | B      |
| A         | 1.433          | B      |

## ANEXO 8 Análisis estadístico prueba de Friedman

Estadísticos descriptivos:

| Variable | Observaciones | Mínimo | Máximo | Media | Desviación típica |
|----------|---------------|--------|--------|-------|-------------------|
| 516      | 100           | 1.000  | 4.000  | 2.640 | 1.142             |
| 911      | 100           | 1.000  | 4.000  | 2.540 | 1.114             |
| 787      | 100           | 1.000  | 4.000  | 2.540 | 1.123             |
| 161      | 100           | 1.000  | 4.000  | 2.280 | 1.083             |

Prueba de Friedman:

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Q (Valor observado) | 57.479   |
| Q (Valor crítico)   | 7.815    |
| GDL                 | 3        |
| p-valor (bilateral) | < 0.0001 |
| alfa                | 0.05     |

Comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Nemenyi / Prueba bilateral:

| Muestra | Frecuencia | Suma de los rangos | Media de los rangos | Grupos |
|---------|------------|--------------------|---------------------|--------|
| 161     | 100        | 207.500            | 2.075               | A      |
| 911     | 100        | 255.500            | 2.555               | B      |
| 787     | 100        | 259.000            | 2.590               | B      |
| 516     | 100        | 278.000            | 2.780               | B      |

## ANEXO 9 Análisis estadístico nivel de agrado

a) Sabor

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 11  | 40.247                | 3.659                  | 1.931 | 0.034  |
| Predominancia   | 2   | 13.022                | 6.511                  | 3.436 | 0.033  |
| Producto        | 3   | 18.572                | 6.191                  | 3.267 | 0.021  |
| Interacción     | 6   | 15.507                | 2.584                  | 1.364 | 0.228  |
| Error           | 388 | 735.263               | 1.895                  |       |        |
| Total corregido | 399 | 775.510               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

### DMSH Primer factor

| Categoría | Media estimada | Grupos |
|-----------|----------------|--------|
| Vegana    | 4.143          | A      |
| Animal    | 3.538          | A B    |
| Mixto     | 3.390          | B      |

### DMSH segundo factor

| Categoría | Media estimada | Grupos |
|-----------|----------------|--------|
| 161       | 4.176          | A      |
| 787       | 3.707          | A B    |
| 911       | 3.563          | A B    |
| 516       | 3.315          | B      |



b) Textura

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 11  | 9.358                 | 0.851                  | 0.475 | 0.919  |
| Predominancia   | 2   | 1.658                 | 0.829                  | 0.463 | 0.630  |
| Producto        | 3   | 4.705                 | 1.568                  | 0.875 | 0.454  |
| Interacción     | 6   | 3.494                 | 0.582                  | 0.325 | 0.924  |
| Error           | 388 | 695.419               | 1.792                  |       |        |
| Total corregido | 399 | 704.778               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

c) Resabio

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 11  | 10.240                | 0.931                  | 0.547 | 0.871  |
| Predominancia   | 2   | 6.401                 | 3.200                  | 1.880 | 0.154  |
| Producto        | 3   | 1.215                 | 0.405                  | 0.238 | 0.870  |
| Interacción     | 6   | 1.286                 | 0.214                  | 0.126 | 0.993  |
| Error           | 388 | 660.438               | 1.702                  |       |        |
| Total corregido | 399 | 670.678               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

d) Agrado en general

Análisis de la varianza:

| Fuente          | GDL | Suma de los cuadrados | Media de los cuadrados | F     | Pr > F |
|-----------------|-----|-----------------------|------------------------|-------|--------|
| Modelo          | 11  | 22.932                | 2.085                  | 1.231 | 0.264  |
| Predominancia   | 2   | 11.712                | 5.856                  | 3.459 | 0.032  |
| Muestra         | 3   | 7.595                 | 2.532                  | 1.495 | 0.215  |
| Interacción     | 6   | 6.455                 | 1.076                  | 0.635 | 0.702  |
| Error           | 388 | 656.865               | 1.693                  |       |        |
| Total corregido | 399 | 679.797               |                        |       |        |

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*