

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA



COMPARACION DEL CONTENIDO DE PROTEINA Y TRIPTOFANO EN
SEMILLA Y GRANO DE *Zea mays* (MAIZ) DEL HIBRIDO H-59 PRODUCIDO
EN EL CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y
FORESTAL ENRIQUE ALVAREZ CORDOVA (CENTA)

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR

JUAN CARLOS ALVARADO PEREZ

SANDRA ISABEL QUINTANAR MARTINEZ

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA

OCTUBRE, 2013

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANA

LICDA. ANABEL DE LOURDES AYALA DE SORIANO

SECRETARIO

LIC. FRANCISCO REMBERTO MIXCO LOPEZ

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADUACION

COORDINADORA GENERAL

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

ASESORA DE AREA DE ANALISIS DE ALIMENTOS Y QUIMICA AGRICOLA

MSc. Ena Edith Herrera Salazar

ASESORA DE AREA DE GESTION AMBIENTAL: CALIDAD AMBIENTAL

MSc. Cecilia Haydee Gallardo de Velásquez

DOCENTES DIRECTORES

MAE. María Elisa Vivar de Figueroa

Lic. Fredy Alexander Carranza Estrada

AGRADECIMIENTOS

A NUESTROS DOCENTES DIRECTORES: MAE. María Elisa Vivar de Figueroa y Lic. Fredy Alexander Carranza Estrada, por el tiempo, esfuerzo y paciencia dedicados; por su cariño, amistad y apoyo incondicional desde siempre y especialmente durante la realización de este trabajo de graduación.

AL PERSONAL DEL LABORATORIO DE QUIMICA AGRICOLA DEL CENTA: Licda. Miriam Álvarez de Amaya por permitirnos el uso de recursos e instalaciones del Laboratorio de Química Agrícola, ya que sin su ayuda esta investigación no se hubiese podido realizar. Licda. Amanda de Arévalo y Lic. Luis Reyes Valiente por su dedicación y paciencia durante el trabajo en el laboratorio. Licda. Lisa Estrada Pérez y Lic. Héctor Shunico Shunico por su guía y consejos. Aux. Ángel Castro (“Don Angelito”) por su ayuda y colaboración desinteresadas.

AL ING. HÉCTOR DERAS FLORES, TÉCNICO DEL PROGRAMA DE GRANOS BÁSICOS DEL CENTA. Quien amablemente colaboró en la donación de la semilla de maíz híbrido H-59 utilizada en el estudio.

AL CENTRO DE ACOPIO DE SERVICIO Y GRANOS BASICOS DE ASOCIACION COOPERATIVA DE AHUASUR DE R.L.: Por contribuir a la investigación mediante la donación de los granos de maíz híbrido H-59 utilizados. Gracias al Ing. Carlos Alfredo López Aguirre, Asesor de dicho centro y al Sr. Genaro Enrique Chávez, Presidente de la cooperativa; por su valiosa ayuda en la recolección de los granos. A las familias de agricultores asociados, por su generosa colaboración.

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: Por ser el motor de mi vida, que fiel a sus promesas me ha guiado en todo este camino, brindándome la sabiduría para lograr culminar mi carrera con éxito, ya que al pedirle su fuerza he logrado ser fuerte en mi debilidad, gracias porque sé que siempre estarás conmigo.

A MIS PADRES: Abinda Pérez y Gonzalo Alvarado, que me han dado su amor y han luchado, trabajado y hecho muchos sacrificios dejando de lado sus propias necesidades y ponerme por su prioridad, teniéndome la paciencia para apoyarme a lo largo de toda mi vida, por sus consejos, y por levantarme los ánimos cada vez que lo necesite. ¡Gracias infinitas por su apoyo incondicional Dios los bendiga mucho siempre!

A MI ABUELA: Doris Vásquez, por brindarme su amor, su cariño, protección, apoyo, por cada palabra de ánimo y todo el sacrificio hecho siempre estaré muy agradecido, Dios la bendiga siempre.

A MIS HERMANOS: Rodrigo y Mayra por su comprensión, cariño y apoyo en los momentos duros de mi vida, y brindarme todos esos momentos felices que hemos pasado juntos, Dios los bendiga.

A TODOS MIS AMIGOS: Por darme consuelo, compañía y apoyo, animándome siempre a no desistir de mis objetivos de vida, y sobre todo los buenos momentos que hemos pasado.

JUAN CARLOS ALVARADO PEREZ

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO, por darme la vida, por no desampararme cuando he perdido la fe, por darme las fuerzas para seguir adelante, por permitirme terminar mis estudios universitarios, por bendecirme con una familia tan maravillosa a quienes les debo todo.

A MIS PADRES, Sandra Martínez y Humberto Quintanar, por haber estado allí siempre que los necesité, por haberme apoyado y consolado en los momentos más difíciles, por aceptarme y amarme a pesar de todo. Por guiarme en este viaje llamado vida. Por permitirme estudiar y superarme día con día, a pesar de todas las limitaciones y altibajos sufridos.

A MIS HERMANAS, Karla y Kathya por ser quienes son, por quererme y aceptarme a pesar de todo, por consolarme y apoyarme a lo largo del tiempo que tenemos juntas, por ser parte del motor de mi vida y esfuerzos; por estar allí fielmente como mis mejores amigas y compañeras de viaje.

MIS ABUELOS, ISABEL CAÑAS Y JORGE MARCONI, A MI TÍA, BLANCA MARTÍNEZ Y MI TIO HECTOR CAÑAS quienes sin su ayuda, apoyo desinteresado y amor no podría haber seguido adelante en este camino, y haber llegado donde estoy ahora.

A MIS QUERIDAS AMIGAS, Sara, Stephany, Jessica, Jenny, Claudia y Diana, quienes me han marcado de la mejor manera, dándome su cariño y apoyo, brindándome consejos y consuelo siempre que los necesité; por los buenos y malos momentos vividos y los que nos quedan por vivir.

A MI COMPAÑERO Y AMIGO JUAN, quien tuvo la valentía y el temple de trabajar conmigo a pesar de todo. Gracias por soportarme.

SANDRA ISABEL QUINTANAR MARTINEZ

INDICE

| | Pág. |
|--|------|
| Resumen | |
| Capitulo I | |
| 1.0 Introducción | xx |
| Capitulo II | |
| 2.0 Objetivos | |
| Capitulo III | |
| 3.0 Marco Teórico | |
| 3.1 Generalidades del maíz | 25 |
| 3.1.1 El maíz | 25 |
| 3.1.2 Origen y distribución | 25 |
| 3.2 Morfología | 26 |
| 3.2.1 Estructura de la planta de maíz | 26 |
| 3.2.2 Estructura del grano de maíz | 27 |
| 3.3 Fisiología del maíz | 28 |
| 3.4 Factores edafoclimaticos | 29 |
| 3.4.1 Adaptación | 29 |
| 3.4.2 Suelo | 30 |
| 3.4.3 Agua | 30 |
| 3.5 Diversidad genética | 31 |
| 3.5.1 Clasificación según la variedad botánica | 31 |
| 3.5.2 Clasificación según su uso | 34 |
| 3.6 Tipo de aprovechamiento | 35 |
| 3.7 Composición química del maíz | 36 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.7.1 | Composición química general | 36 |
| 3.7.2 | Almidón | 36 |
| 3.7.3 | Proteína | 37 |
| 3.7.3.1 | El triptófano y su importancia | 39 |
| 3.7.4 | Aceite y ácidos grasos | 40 |
| 3.7.5 | Fibra dietética | 41 |
| 3.7.6 | Minerales | 42 |
| 3.7.7 | Composición química de las partes del grano de maíz | 43 |
| 3.8 | Valor nutritivo del maíz | 47 |
| 3.9 | Antecedentes de los maíces más cosechados en el país. Híbrido de maíz H-59 y maíces ACP | 51 |
| 3.9.1 | Formación del híbrido de maíz H-59 | 51 |
| 3.9.2 | Maíces de alta calidad proteínica (ACP) difundidos en el país | 51 |

Capítulo IV

4.0 Diseño Metodológico

| | | |
|-------|---|----|
| 4.1 | Tipo de estudio | 55 |
| 4.2 | Investigación bibliográfica | 55 |
| 4.3 | Investigación de campo | 56 |
| 4.3.1 | Universo | 56 |
| 4.3.2 | Toma de muestra | 56 |
| 4.4 | Fundamento de los métodos | 57 |
| 4.4.1 | Fundamento del método de la determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico | 57 |
| 4.4.2 | Fundamento del método de la determinación de proteína cruda por el método Micro-Kjeldahl | 58 |
| 4.5 | Parte experimental | 59 |
| 4.5.1 | Preparación de las muestras para análisis de triptófano y | |

| | |
|--|----|
| proteína en grano entero de maíz | 59 |
| 4.5.2 Determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico | 60 |
| 4.5.3 Cálculos de determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico | 62 |
| 4.5.4 Determinación de proteína cruda por el método micro-Kjeldahl | 63 |
| 4.5.5 Cálculos para la determinación de proteína cruda por el método de micro-Kjeldahl | 64 |
| 4.5.6 Interpretación de los resultados de laboratorio en la determinación de proteína y triptófano en grano entero de maíz | 64 |
| 4.6 Diseño estadístico | 66 |

Capítulo V

5.0 Resultados y discusión de resultados

| | |
|---|----|
| 5.1 Determinar el porcentaje de proteína presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en el departamento de Ahuachapán | 68 |
| 5.2 Cuantificar el porcentaje de triptófano en la semilla y grano cosechado del híbrido de maíz en estudio por el método del ácido glioxílico | 71 |
| 5.3 Evaluar si existen diferencias significativas del contenido de proteína y triptófano entre la semilla liberada por el CENTA y el grano cosechado en el departamento de Ahuachapán | 76 |

Capítulo VI

| | |
|-------------------------|-----------|
| 6.0 Conclusiones | 86 |
|-------------------------|-----------|

Capitulo VII

7.0 Recomendaciones

89

Bibliografía

Glosario

Anexos

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°

1. Ingesta proteínica diaria recomendada por la FAO/OMS/ONU
2. Necesidades de aminoácidos sugeridas por la FAO/OMS/ONU
3. Superficie cultivada de maíz en El Salvador anual 2012 MAG
4. Zonas productoras de maíz, El Salvador 2011-2012 MAG
5. Seguridad alimentaria//IICA
6. Esquema de procedimiento de determinación de triptófano con ácido glioxílico en semilla y grano entero de maíz híbrido H-59
7. Esquema de la determinación de proteína cruda por el método de micro-Kjeldahl
8. Listado de materiales y preparación de reactivos de la determinación de triptófano y de proteína en grano entero de maíz
9. Recomendaciones especiales en la determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico
10. Valores de t Student para pruebas de una y dos colas.
11. Codificación de las muestras de semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59
12. Fotografías de la preparación de las muestras de semilla y grano de maíz híbrido H-59 y de la parte experimental.
13. Cálculos de la determinación de proteína presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán

14. Cálculos de la determinación de triptófano presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuido por el CENTA y el grano cosechado en El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán
15. Cálculo del índice de calidad de la semilla y del grano cosechado de maíz híbrido H-59
16. Cálculo del porcentaje de lisina indirectamente en la semilla y del grano cosechado de maíz híbrido H-59

INDICE DE CUADROS

| Cuadro N° | Pág. |
|---|------|
| 1. Composición química general de distintas variedades de maíz (%) | 36 |
| 2. Distribución de las fracciones de proteína en las variedades Blanco dentado-1ACP y Tuxpeño 1 (grano entero) | 38 |
| 3. Fibra soluble e insoluble de maíz común y ACP | 41 |
| 4. Fibra neutro detergente (FND) y ácido detergente (FAD), hemicelulosa y lignina en el maíz completo para 5 variedades de maíz (%) | 41 |
| 5. Contenido de minerales en el maíz | 42 |
| 6. Composición química proximal de las partes principales del grano de maíz (%) | 44 |
| 7. Contenido de aminoácidos esenciales de la proteína del germen y el endospermo de maíz | 45 |
| 8. Proteínas netas del grano entero, germen y endospermo de variedades de maíz guatemalteco (En porcentaje de caseína al 100%) | 47 |
| 9. Calidad de proteínas de maíz y otros cereales | 48 |
| 10. Características agronómicas de híbridos de maíz generados por el CENTA | 52 |
| 11. Valor nutritivo de maíces de alta calidad proteínica comparado con maíz común | 53 |
| 12. Preparación de la curva estándar de triptófano | 61 |
| 13. Guía rápida para interpretar los resultados de la determinación de proteína y triptófano en grano de maíz | 65 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura N° | Pág. |
|--|------|
| 1. Morfología de la planta de maíz | 27 |
| 2. Estructura del grano de maíz | 28 |
| 3. Resultados en la determinación de proteína en semilla y grano | 70 |
| 4. Resultados en la determinación de triptófano en semilla y grano | 73 |
| 5. Curva normal, zona de aceptación y zona de rechazo de la hipótesis nula. Proteína | 80 |
| 6. Curva normal zona de aceptación y zona de rechazo de hipótesis nula. Triptófano | 83 |

INDICE DE TABLAS

| Tabla N° | Pág. |
|---|------|
| 1. Resultados de la determinación de proteína en la semilla y grano de maíz híbrido H-59 | 69 |
| 2. Resultados de la determinación de triptófano obtenidos en los controles de maíz normal y ACP | 72 |
| 3. Resultados de la determinación de triptófano en la semilla y el grano de maíz híbrido H-59 | 72 |
| 4. Resumen de resultados del porcentaje de nitrógeno, proteína, triptófano, lisina e índice de calidad en semilla y grano de maíz híbrido H-59. | 75 |
| 5. Cálculos aplicando la prueba T de student para muestras pareadas. Proteína. | 77 |
| 6. Resultados de prueba T para dos muestras pareadas: contenido de proteína en semilla y grano cosechado. | 79 |
| 7. Cálculos aplicando la prueba T de student para muestras pareadas. Triptófano. | 81 |
| 8. Resultados de prueba T para dos muestras pareadas: contenido de triptófano en semilla y grano cosechado. | 82 |

ABREVIATURAS

ACP o QPM: Maíz de Alta Calidad Proteica

CENTA: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique
Álvarez Córdova

CIMMYT: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

FAD: Fibra Ácido Detergente

FAO: Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas
para la Agricultura y la Alimentación)

FND: Fibra Neutro Detergente

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

OMS: Organización Mundial de la Salud

Trp: Triptófano

RESUMEN

En El Salvador existen muchas iniciativas enfocadas a la seguridad alimentaria por parte del gobierno, a través de las políticas de Estado sin embargo, actualmente estos esfuerzos han dejado parcialmente de lado el monitoreo y control de la calidad del valor nutricional de los alimentos que se distribuye y está disponible al consumidor final, como bien es el caso del maíz, en el cual el valor nutricional del mismo está íntimamente relacionado con el contenido de proteína y la calidad de la misma reflejada en el aporte de aminoácidos limitantes como son el triptófano y la lisina, por lo que para evaluar la calidad del grano, se determinó el contenido de proteína y triptófano en semilla y grano de *Zea mays* (maíz) del híbrido H-59 producido en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova, y así evaluar si existen diferencias significativas del contenido de proteína y triptófano entre la semilla distribuida y el grano cosechado en el Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez del Departamento de Ahuachapán.

La investigación se realizó de marzo-agosto del presente año, se analizaron 9 muestras de semilla y 9 muestras de grano de maíz híbrido H-59, siendo en total 18 muestras, la determinación del contenido de proteína en semilla y grano entero por el método del micro Kjehendal se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, y la determinación de triptófano en semilla y grano entero por el método del ácido glioxílico se realizó en el laboratorio de Química Agrícola del CENTA, los valores promedio obtenidos para semilla de maíz híbrido H-59 son de 12.97% de proteína y 0.075% de triptófano por parte del grano de maíz cosechado se obtuvo el valor promedio de 11.21% de proteína y de 0.065% de triptófano.

A partir de los valores encontrados en los análisis se realizó una comparación de medias de muestras pareadas en la cual se encontró diferencia estadísticamente significativa entre el contenido de proteína de la semilla y el grano cosechado de maíz híbrido H-59, sin embargo en el contenido de triptófano tanto para semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas.

A partir de estos resultados se recomienda que se debe realizar un monitoreo constante del valor nutricional del maíz distribuido por medio de los paquetes agrícolas de parte de las instituciones competentes del Estado y así establecer la calidad de éste.

CAPITULO I
INTRODUCCION

1.0 INTRODUCCION

Históricamente, el maíz ha sido y es uno de los cereales más importantes en la alimentación humana; de manera tal que en el país se incluye en la dieta de la mayor parte de la población; por lo que es necesario la mejora continua de este cultivo no sólo en sus características agronómicas, sino también, en las características nutricionales subyacentes a este.

Éstas características junto con el valor nutricional del maíz, están comprendidas en gran medida por el porcentaje y calidad de proteína que puede aportar, entre otros nutrientes; parámetros que se miden en relación a la cantidad de aminoácidos esenciales y más específicamente al aporte que éste pueda tener de aminoácidos limitantes como son el triptófano y la lisina que guarda íntima relación con éste último.

En este sentido, el Estado ha buscado a través de la implementación de planes de agricultura familiar enfocados en la seguridad alimentaria, que el productor tenga a su disposición cosechas de alto rendimiento, por lo que se ha difundido el cultivo de maíces híbridos, que no solo poseen mejores características agronómicas sino también mejoras en el contenido de proteína, entre otros nutrientes, en comparación con el maíz criollo cosechado tradicionalmente. Sin embargo, actualmente no se realiza un monitoreo y control de la calidad nutricional que se traslada y está disponible al consumidor final de este cultivo; por lo que con este estudio se comparó y evaluó las diferencias significativas, en el híbrido de maíz de mayor distribución en el país siendo éste el H-59; para lo cual se determinó el contenido de proteína, triptófano y se cuantificó indirectamente el contenido de lisina en semilla y grano entero de maíz de muestras provenientes del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA), institución encargada de la distribución de éste híbrido en el país, y de productores locales del Caserío

La Ceiba, Cantón la Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez departamento de Ahuachapán, respectivamente, recolectadas a partir de la cosecha postrera 2012, en el periodo de mayo a junio de 2013.

CAPITULO II

OBJETIVOS

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

Comparar el contenido de proteína y triptófano en semilla y grano de ***Zea mays*** (maíz) del híbrido H-59 producido en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA).

2.2 Objetivos específicos:

- 2.2.1 Determinar el porcentaje de proteína presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en el departamento de Ahuachapán.
- 2.2.2 Cuantificar el porcentaje de triptófano en la semilla y grano cosechado del híbrido de maíz en estudio por el método del ácido glioxílico.
- 2.2.3 Evaluar si existen diferencias significativas del contenido de proteína y triptófano entre la semilla liberada por el CENTA y el grano cosechado en el departamento de Ahuachapán.

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.0 MARCO TEORICO

3.1 Generalidades del maíz

3.1.1 El maíz⁽⁵⁾

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas. Su nombre científico es ***Zea mays*** L. Familia: Gramineae o Poaceae. Otros nombres: abatí, canguil, capi, capiá, caucha, cuatemil, choclo, choglio, gua, guate, malajo, milho, zara.

El maíz es una gramínea anual de crecimiento rápido y gran capacidad productiva, adaptada a las más diversas condiciones de clima y suelo. Constituye después del trigo y el arroz, el cultivo más importante del mundo en la alimentación humana y animal.

3.1.2 Origen y distribución⁽⁵⁾

En la actualidad se acepta que el maíz es originario de América, concretamente de la zona situada entre la mitad sur de México y el sur de Guatemala. Sus registros fósiles más antiguos, encontrados en la ciudad de México, consisten en muestras de polen de un maíz primitivo y tienen entre sesenta y ochenta mil años de antigüedad. Las primeras mazorcas se encontraron en Tehuacán (México) y datan de hace aproximadamente siete mil años. Estas mazorcas eran muy delgadas y pequeñas (unos 2.5 cm de longitud) y estaban protegidas solamente por un par de hojas. En Sudamérica las pruebas arqueológicas de la transformación del maíz son más recientes y escasas; se localizan principalmente en las zonas costeras del Perú. A partir de estas áreas, el cultivo del maíz fue extendiéndose, primero a América del Norte y, tras la llegada de Cristóbal Colón al continente, al resto del mundo.

3.2 Morfología ⁽¹⁰⁾

3.2.1 Estructura de la planta de maíz

El cultivo del maíz es de régimen anual. Su ciclo vegetativo oscila entre 80 y 200 días, desde la siembra hasta la cosecha. La estructura del maíz es la siguiente a decir:

- A. Planta:** existen variedades enanas de 40 a 60 cm de altura, hasta las gigantes de 200 a 300 cm. El maíz común no produce macollos.
- B. Tallo:** es leñoso, cilíndrico. Y presenta nudos cuyo número varía de 8 a 25, con un promedio de 16.
- C. Hoja:** La vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entrenudo, pero con los extremos desunidos. Su color usual es verde pero se pueden encontrar hojas rayadas de blanco y verde o verde y purpura. El número de hojas por planta varía entre 8 y 25.
- D. Sistema radicular:** Que se encuentra constituido por las siguientes partes a saber:
- E. Raíz seminal o principal:** está representada por un grupo de una a cuatro raíces, que pronto dejan de funcionar. Se originan en el embrión. Suministra nutrientes a las semillas en las primeras dos semanas.
- F. Raíces adventicias:** el sistema radicular de una planta es casi totalmente de tipo adventicio. Puede alcanzar hasta dos metros de profundidad.
- G. Raíces de sostén o soporte:** este tipo de raíces se originan en los nudos, cerca de la superficie del suelo. Favorecen una mayor estabilidad y disminuyen problemas de acame. Las raíces de sostén realizan la fotosíntesis.

H. **Raíces aéreas:** son raíces que no alcanzan el suelo.

I. **Flores:** El maíz es monoico, es decir, tiene flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las flores son estaminadas o pistiladas. Las flores estaminadas o masculinas están representadas por la espiga. Las pistiladas o femeninas son las mazorcas.

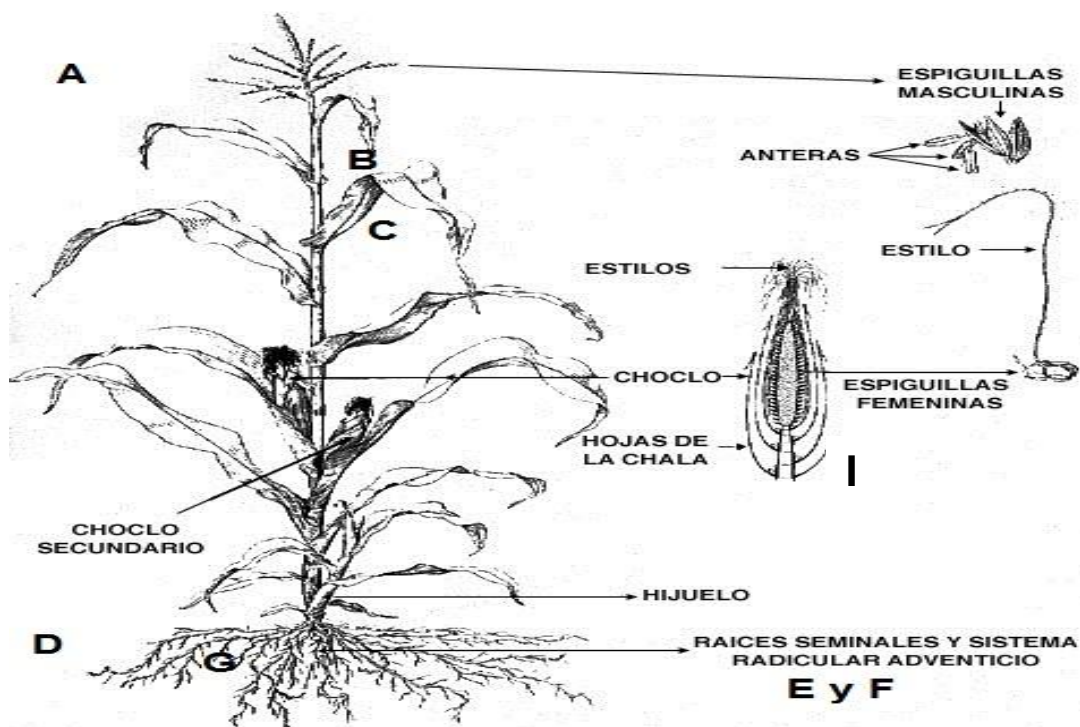


Figura N° 1. Morfología de la planta de maíz.

3.2.2 Estructura del grano de maíz ⁽³⁾

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga. Ésta estructura puede contener de 300 a 1000 granos según el número de hileras y el diámetro y longitud de la mazorca.

El peso del grano puede variar mucho, de aproximadamente 19 a 30 g por cada 100 granos.

Durante la recolección, las panojas de maíz son arrancadas manual o mecánicamente de la planta. Se pelan las brácteas que envuelven la mazorca y luego se separan los granos a mano o, más a menudo, mecánicamente.

El grano de maíz se denomina en botánica cariósipide o cariopsis; cada grano contiene el revestimiento de la semilla, o cubierta seminal, y la semilla, como se ve en la Figura N°2 donde se observan también las cuatro estructuras físicas fundamentales del grano: primero, se presenta el pericarpio (conocido también como cáscara o salvado); segundo, el endospermo; tercero, el germen también conocido como embrión y cuarto, la piloriza (tejido inerte en que se unen el grano y el carozo).

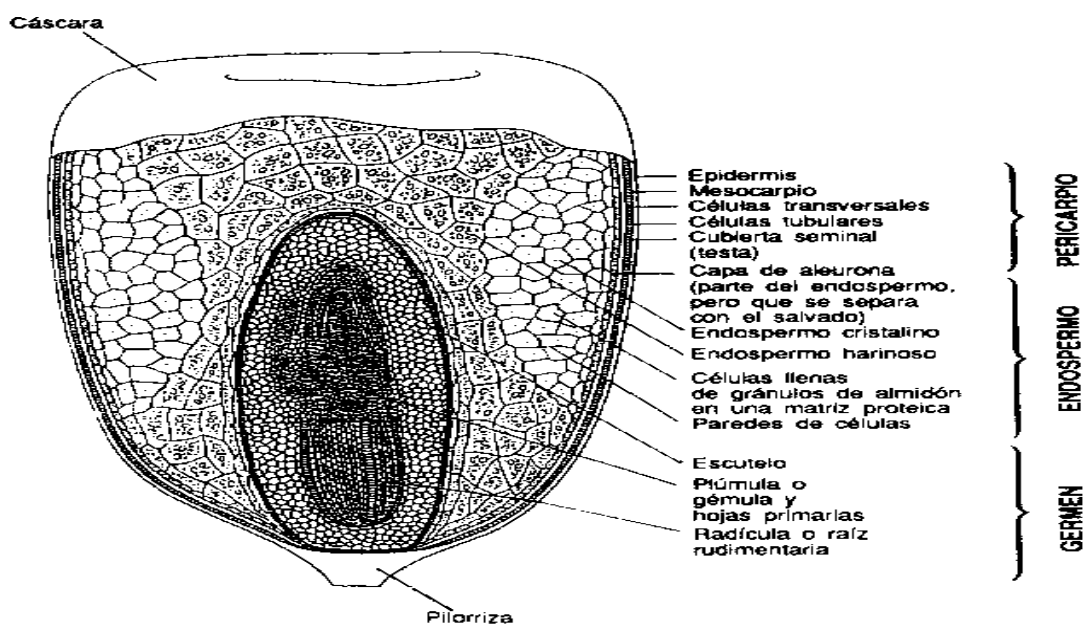


Figura N° 2. Estructura del grano de maíz.

3.3 Fisiología del maíz⁽¹⁰⁾

La fisiología del maíz está determinada, en gran medida, por el factor genético.

La forma de crecimiento y desarrollo de la planta depende de las condiciones ambientales, solo hasta cierto punto.

Bajo condiciones apropiadas de temperatura, humedad y aireación, el maíz germina dentro de los seis días posteriores a la siembra. No requiere de luz para germinar y, en general no presenta problemas de latencia o dormancia.

El cambio de la fase vegetativa a la fase productiva se produce más temprano, cuando el periodo de cultivo coincide con días cortos. Durante días largos, el maíz florece tardíamente.

La disposición floral favorece una polinización cruzada. Bajo condiciones normales, la autofecundación es alrededor de 5%. La diseminación del polen se efectúa por medio del viento, la gravedad y las abejas.

3.4 Factores edafoclimáticos₍₇₎

El maíz es una planta dotada de una amplia capacidad de respuesta a las oportunidades que ofrece el medio ambiente, y tiene alto nivel de respuesta a los efectos de la luz. Actualmente, existen diversidad de cultivares útiles para su cultivo bajo condiciones naturales muy distintas de las propias de su hábitat original.

3.4.1 Adaptación₍₇₎

El maíz posee buen desarrollo vegetativo que puede alcanzar hasta los 5 metros de altura en altitudes superiores a los 1,000 metros sobre el nivel del mar (msnm).

En El Salvador, los mejores rendimientos se obtienen en el rango comprendido entre 0 a 900 msnm, y la planta alcanza una altura de 2 a 2.65 metros, por lo que estos germoplasmas son considerados como tropicales. Como cultivo comercial, crece entre las latitudes 55° N y 40° S.

3.4.2 Suelo⁽⁷⁾

El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos donde puede producir buenas cosechas, si se emplean los cultivares adecuados y técnicas de cultivo apropiadas.

En general, los suelos más idóneos para el cultivo del maíz son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua. El maíz, en general, crece bien en suelos con pH entre 5.5 y 7.8. Fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Cuando el pH es inferior a 5.5 a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, además de carencia de fósforo y magnesio; con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencia de hierro, manganeso y zinc.

Los síntomas en el campo, de un pH inadecuado, en general se asemejan a los problemas de micro nutrientes.

3.4.3 Agua⁽⁷⁾

La falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz en las zonas tropicales. Cuando hay estrés hídrico o sequía durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido el cultivo puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento. Sin embargo, el cultivo puede recuperarse sin afectar seriamente el rendimiento.

Cerca de la floración (desde unas dos semanas antes de la emisión de estigmas, hasta dos semanas después de ésta) el maíz es muy sensible al estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado si se produce sequía durante este período.

En general, el maíz necesita por lo menos de 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo del cultivo.

El maíz es muy sensible también al aniego o encharcamiento; es decir, a los suelos saturados y sobresaturados. Desde la siembra, hasta aproximadamente los 15-20 días, el aniego por más de 24 horas puede dañar el cultivo (especialmente si las temperaturas son altas) porque el meristemo está debajo de la superficie del suelo en esos momentos.

Más tarde, en el ciclo de cultivo, el aniego puede ser tolerado durante períodos de hasta una semana, pero se reduce considerablemente el rendimiento.

3.5 Diversidad genética⁽⁵⁾

La especie *Zea mays* L. presenta gran variabilidad genética y esto ha hecho surgir muchas razas, que se diferencian por la calidad, cantidad y composición de las sustancias de reserva del grano. Estas sustancias se encuentran en el interior del mismo, en una zona que se conoce como endospermo.

3.5.1 Clasificación según la variedad botánica⁽⁵⁾

Cada una de las razas o tipos tiene el rango de variedad botánica; las variedades se han clasificado del modo siguiente:

Variedad everta o maíz reventón. Se diferencia de las demás por la constitución del endospermo, formado por un almidón más duro y en el que existen tubos capilares rellenos de agua y aire. Al ser sometidos a la acción del calor, el endospermo explota, dejando expuesta la parte interior del grano.

Se utiliza sobre todo para el consumo humano (en forma de las crispetas, rosetas, palomitas, pochoclos, etc.).

Variedad amylacea o maíz harinoso. El grano es más grande que el de los

otros tipos y su peso específico es más bajo. Esta característica se debe al predominio de un tipo de almidón, la amilopectina, en el endospermo. Se emplea para obtener harinas y almidón.

Variedad indentata o maíz dentado. Es un tipo de intermedio entre los duros y los harinosos, y el más cosechado en el mundo. Su característica principal es una depresión en la parte superior del grano.

Variedad indurata o maíz duro. Las semillas son más pequeñas que las de variedad indentata y se usan en la alimentación de aves.

Variedad saccharata o maíz dulce. A esta variedad pertenecen los maíces más utilizados para el consumo humano, en fresco o como producto industrializado. En ella el endospermo tiene una elevada concentración de azúcar cuando el grano está en el estadio de maduración lechosa.

Variedad ceratina o maíz ceroso. Este tipo fue llevado a Estados Unidos desde China en 1908 y se mantiene como una curiosidad genética. El endospermo está formado casi exclusivamente por la amilopectina, lo que le confiere una apariencia cerosa.

Variedad tunicata o maíz tunicado. La principal característica de este grupo es que cada grano está rodeado de unas escamas protectoras llamadas glumas. Se utilizan en los estudios relativos al origen de la especie, no teniendo ninguna aplicación comercial.

Opaco-2 y maíces con alta calidad proteica (ACP o QPM). Este tipo de maíz tiene un gen mutante recesivo Opaco-2 (o2) que contiene cerca del doble de dos aminoácidos esenciales, lisina y triptófano, en su endospermo. Esto mejora sensiblemente la calidad de las proteínas del maíz, el cual normalmente es uno de los cereales con más bajo contenido proteico.

En los ACP es afectada la calidad de las proteínas y no su cantidad. El grano típico de opaco-2 tiene un endospermo muy blando con una apariencia yeyosa y opaca. El gen o2 también causa algunos efectos indeseables tales como susceptibilidad a la pudrición de la mazorca, a los insectos de los granos almacenados y presenta un menor rendimiento. Estos defectos han sido eliminados por medio de cruzamientos y por la acumulación de genes modificadores adecuados los cuales han resultado en un grano con un aspecto muy similar a los maíces duros o dentados, con un buen rendimiento y que retienen el gen o2 y sus efectos positivos sobre la calidad de la proteína. Como este maíz no tenía apariencia opaca ni yeyosa fue denominado maíz con alta calidad proteica ACP o QPM como sus siglas en inglés. A pesar de los éxitos obtenidos en estos trabajos de fitomejoramiento los ACP no se han difundido demasiado.⁽³⁾

Hay además muchas otras líneas distintas, adaptadas a condiciones de clima y suelo muy diferentes.

La variabilidad más amplia se produce en las poblaciones de polinización libre, cosechadas en diversos países de América, y la más restringida, entre los híbridos simples.⁽¹⁰⁾

El maíz híbrido se crea por la cruce de plantas con caracteres genéticos muy diferentes. Respecto a la capacidad productiva, los híbridos simples tienen rendimientos más altos, debido al efecto conocido como heterosis o vigor híbrido (en referencia al superior vigor de los descendientes de un cruzamiento en relación con el de sus progenitores). Las variedades de polinización libre son las que producen rendimientos menores. No obstante, para que los híbridos simples consigan manifestar todo su potencial genético es necesario aplicar técnicas de cultivo que les proporcionen un ambiente favorable.⁽⁵⁾

3.5.2 Clasificación según su uso⁽¹⁰⁾

De acuerdo con su uso, existen variedades de maíz forrajero y para la producción de grano.

El maíz forrajero debe tener abundante follaje. La particularidad del maíz forrajero es que las hojas y el tallo tienen menos lignina, por lo que es más digerible.

Las variedades para la producción de granos se clasifican de acuerdo con las siguientes características:

Granos de color blanco. Para la elaboración de cereales.

Granos con alta cantidad de carbohidratos. Son más aptos para la alimentación de animales.

Granos de estructura cerosa. Tienen un alto contenido de amilopectina. Se utilizan como alimentos para el ganado.

Granos con alto contenido de azúcar. Son aptos para la alimentación humana. Se consumen en forma de elotes.

Granos con alto contenido de aceite. Se utilizan principalmente en la industria aceitera.

Granos con alto contenido de proteína y de lisina (ACP o QPM). Se usan para la industria de alimentos.

Granos con mayor proporción de almidón duro o cristalino. Se utilizan para elaborar rosetas o palomitas.

3.6 Tipo de aprovechamiento⁽⁵⁾

El maíz es uno de los cultivos más importantes en el mundo desde el punto de vista de la alimentación humana y animal.

Sus granos constituyen un alimento energético típico, debido a que son ricos en carbohidratos, principalmente almidón. También es empleado como forraje en la elaboración de ensilados. Para ello, la planta se tritura cuando el grano se encuentra en estado de madurez lechosa (con el 75% de humedad) y se somete a fermentación láctica.

La proteína del maíz es deficitaria en algunos aminoácidos esenciales, como la lisina y el triptófano, necesarias para el crecimiento de los animales. Por ello, el maíz debe complementarse, cuando se emplea en la elaboración de piensos, como otros alimentos.

Otro producto derivado del maíz es el aceite, que se obtiene comercialmente una vez separado el embrión. El aceite refinado tiene un 98 por ciento de triglicéridos, de los cuales el 61.9% contiene ácido linoleico, el 24.1% y el 0.7% ácido linolénico. Esta elevada cantidad de ácidos grasos insaturados permite reducir los niveles de colesterol en la sangre, por lo que es adecuado para quienes padecen dicho problema.

En la transformación industrial del grano se obtienen fracciones que, una vez purificadas, se incorporan a diversos procesos y productos. A partir del almidón hidrolizado se obtiene la isoglucosa, de alto poder edulcorante, formada por una mezcla de los azúcares monosacáridos glucosa y fructosa. Además de la alimentación, los productos derivados del maíz se utilizan en el fundido de materiales y en la elaboración de papel, materiales de construcción, textiles, pinturas, explosivos, productos farmacéuticos, cerámicos y muchos otros.

3.7 Composición química del maíz

3.7.1 Composición química general⁽³⁾

La información que se dispone sobre la composición química general del maíz es abundante y permite conocer que la variabilidad de cada uno de sus principales nutrientes es muy amplia. En el Cuadro N°1 se muestra la composición química porcentual de distintos tipos de maíz, tomados de un estudio que resume datos de diversas publicaciones. La variabilidad observada es tanto genética como ambiental y puede influir en la distribución ponderal y en la composición química específica del endospermo, el germen y la cáscara del grano.

Cuadro N°1. Composición química general de distintas variedades de maíz⁽³⁾

| Tipo de maíz | Humedad (%) | Cenizas (%) | Proteína (%) | Fibra cruda (%) | Extracto etéreo (%) | Hidratos de carbono (%) |
|--------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| Cristalino | 10.5 | 1.7 | 10.3 | 2.2 | 5.0 | 70.3 |
| Harinoso | 9.6 | 1.7 | 10.7 | 2.2 | 5.4 | 70.4 |
| Amiláceo | 11.2 | 2.9 | 9.1 | 1.8 | 2.2 | 72.8 |
| Dulce | 9.5 | 1.5 | 12.9 | 2.9 | 3.9 | 69.3 |

3.7.2 Almidón⁽³⁾

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73% del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30% del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75% del almidón.

La composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina.

Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa (da), hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50% y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina.

3.7.3 Proteína₍₃₎

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11% del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. Las proteínas de los granos del maíz están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas.

Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18% del total de nitrógeno, con proporciones del 7%, 5% y 6% respectivamente. La fracción de prolamina soluble en isopropanol es del 55% y de isopropanol con mercaptoetanol (ME), constituye el 52% del nitrógeno del grano; de éstas la prolamina o zeína soluble en isopropanol es de 55% representando aproximadamente el 42%, y el restante 10% es prolamina 2 o zeína 2. Una solución alcalina con pH 10 y con 0.6 por ciento de ME, extrae la fracción de glutelina 2 en cantidades de aproximadamente el 8%, en tanto que la glutelina 3 es extraída con la misma

solución retardante que antes, con dodecilsulfato de sodio al 0.5%, en cantidades del 17% dando un contenido total de globulina del 25% de las proteínas del grano. Normalmente, una porción reducida, cerca del 5%, está constituida por nitrógeno residual.

En el Cuadro N°2 se resumen los datos sobre el fraccionamiento de las proteínas de un maíz común (Tuxpeño-1) y un ACP (Blanco dentado-1), Las fracciones II y III son zeína I y zeína II, de las que la zeína I (fracción II) es considerablemente superior en la variedad Tuxpeño- 1 en comparación con la ACP, resultado que coincide con los de otras investigaciones. Las cantidades de proteínas solubles en alcohol son bajas en el maíz verde y aumentan a medida que el grano madura. Analizadas dichas fracciones para averiguar su contenido de aminoácidos, la fracción de zeína resultó tener un contenido muy bajo de lisina y carecer de triptófano. Como esas fracciones de zeína constituyen más del 50% de las proteínas del grano, se concluye que ambos aminoácidos tengan también un porcentaje bajo de proteínas. En cambio, las fracciones de albúmina, globulina y glutelina contienen niveles relativamente elevados de lisina y triptófano. Otra característica importante de las fracciones de zeína es su elevadísimo contenido de leucina, aminoácido relacionado con la deficiencia de isoleucina.

Cuadro N°2. Distribución de las fracciones de proteína en las variedades Blanco dentado-1 ACP y Tuxpeño-1 (grano entero).⁽³⁾

| Fracción de proteína | Blanco Dentado-1 ACP | | Tuxpeño-1 | |
|----------------------|----------------------|------|-----------|------|
| | (mg) | (%) | (mg) | (%) |
| I | 6.65 | 31.5 | 3.21 | 16.0 |
| II | 1.25 | 5.9 | 6.18 | 30.8 |
| III | 1.98 | 9.4 | 2.74 | 13.7 |

Cuadro N°2: (Continuación)

| Fracción de proteína | Blanco Dentado-1 ACP | | Tuxpeño-1 | |
|----------------------|----------------------|------|-----------|------|
| | (mg) | (%) | (mg) | (%) |
| IV | 3.72 | 17.6 | 2.39 | 12.0 |
| V | 5.74 | 27.2 | 4.08 | 20.4 |
| Residuos | 1.76 | 8.3 | 1.44 | 7.1 |

El ACP se diferencia del maíz común por la distribución ponderal de las cinco fracciones de proteína mencionadas anteriormente, como se puede apreciar en el Cuadro N°2, la amplitud del cambio varía y en ella influyen el genotipo y las condiciones de cultivo. Ahora bien, se ha determinado que el gen opaco-2 disminuye la concentración de zeína en cerca del 30 por ciento, por lo que el contenido de lisina y triptófano es mayor en las variedades de ACP que en el maíz común.

La calidad nutritiva del maíz como alimento viene determinada por la composición de aminoácidos de sus proteínas. En el Cuadro N°7 que se encuentra más adelante, se indica el contenido de aminoácidos esenciales del maíz común. En el maíz común, son patentes la carencia de lisina y triptófano, en relación con el ACP. Otro rasgo importante es el elevado contenido de leucina del maíz común y el bajo contenido de este aminoácido en el ACP.

3.7.3.1 El triptófano y su importancia⁽¹⁶⁾

El triptófano cumple funciones indispensables y muy importantes en el cuerpo. Las neuronas utilizan triptófano para la formación de serotonina, neurotransmisor importantísimo para evitar la depresión, la ansiedad y mejorar el humor. Por lo tanto se considera al triptófano como protector del sistema nervioso central.

Reduce la ansiedad, ya que tiene efectos ansiolíticos; por lo tanto reduce el apetito. Es muy útil para el tratamiento de la bulimia.

Por otro lado el triptófano, a través de la serotonina, estimula la formación de la melatonina; hormona que mejora la calidad del sueño.

Estimula el sistema inmunológico, mejorando las defensas del cuerpo.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) para obtener todas estas propiedades, se recomienda un consumo de 3.5 mg/kg/día, es decir 250 mg diarios.

3.7.4 Aceite y ácidos grasos⁽³⁾

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen y viene determinado genéticamente, con valores que van del 3 al 18%. Dichos valores difieren en alguna medida, y cabe suponer que los aceites de distintas variedades tengan composiciones diferentes. El aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11% y el 2%, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos poliinsaturados, fundamentalmente ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24%.

Sólo se han encontrado cantidades reducidísimas de ácidos linolénico y araquidónico. Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0.7%) y niveles elevados de antioxidantes naturales.

El aceite de maíz goza de gran reputación a causa de la distribución de sus ácidos grasos, fundamentalmente ácido oleico y linoleico. A ese respecto, quienes consumen maíz desgerminado obtienen menos aceite y ácidos grasos que quienes consumen el grano entero.

3.7.5 Fibra dietética⁽³⁾

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la piloriza, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen. El contenido total de fibra dietética soluble e insoluble de los granos de maíz se presenta en el Cuadro N°3. Las diferencias entre las muestras son pequeñas en lo que se refiere a la fibra soluble e insoluble, aunque el ACP Nutricia tiene niveles más elevados de fibra total que el maíz común, fundamentalmente por tener más fibra insoluble.

Cuadro N°3. Fibra soluble e insoluble del maíz común y del ACP.⁽³⁾

| Tipo de maíz | Fibra dietética (%) | | |
|------------------|---------------------|-------------|--------------|
| | Insoluble | Soluble | Total |
| De sierra | 10.94± 1.26 | 1.25 ± 0.41 | 12.19 ± 1.30 |
| De tierras bajas | 11.15 ± 1.08 | 1.64 ± 0.73 | 12.80 ± 1.47 |
| ACP Nutricia | 13.77 | 1.14 | 14.91 |

En el Cuadro N°4, se muestran los valores de fibra en porcentaje, expresados en forma de fibra ácido y neutro detergente, hemicelulosa y lignina en el maíz completo.

Cuadro N° 4. Fibra neutro (FND) y ácido-detergente (FAD), hemicelulosa y lignina en el maíz completo para cinco variedades de maíz ⁽³⁾.

| Muestra de maíz No. | FND (%) | FAD (%) | Hemicelulosa (%) | Lignina (%) | Paredes celulares (%) |
|---------------------|---------|---------|------------------|-------------|-----------------------|
| 1 | 8.21 | 3.23 | 4.98 | 0.14 | 9.1 |

Cuadro N°4.(Continuación)

| Muestra de maíz No. | FND (%) | FAD (%) | Hemicelulosa (%) | Lignina (%) | Paredes celulares (%) |
|---------------------|--------------|-------------|------------------|-------------|-----------------------|
| 2 | 10.84 | 2.79 | 8.05 | 0.12 | 10.8 |
| 3 | 9.33 | 3.08 | 6.25 | 0.13 | 12.0 |
| 4 | 11.40 | 2.17 | 9.23 | 0.12 | 13.1 |
| 5 | 14.17 | 2.68 | 11.44 | 0.14 | 14.2 |
| Promedio | 10.79 ± 2.27 | 2.79 ± 0.44 | 8.00 ± 2.54 | 0.13 ± 0.01 | 11.8 ± 2.0 |

3.7.6 Minerales⁽³⁾

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1,3%, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda.

El contenido de minerales de algunas muestras de maíz se indican en el Cuadro N°5. Los factores edafoclimáticos influyen probablemente en dicho contenido. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11%, frente a menos del 1% en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78% de todos los minerales del grano.

El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato, seguido del potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0.90% en el maíz común y cerca del 0.92% en el maíz opaco-2. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de Ca y de oligoelementos.

Cuadro N°5. Contenido de minerales en el maíz. ⁽³⁾

| Mineral | Concentración (mg/100 g) |
|---------|--------------------------|
| Fosforo | 299.6 ± 57.8 |

Cuadro N°5 (Continuación)

| Mineral | Concentración (mg/100 g) |
|-----------|--------------------------|
| Potasio | 324.8 ± 33.9 |
| Calcio | 48.3 ± 12.3 |
| Magnesio | 107.9 ± 9.4 |
| Sodio | 59.2 ± 4.1 |
| Hierro | 4.8 ± 1.9 |
| Cobre | 1.3 ± 0.2 |
| Manganeso | 1.0 ± 0.2 |
| Zinc | 4.6 ± 1.2 |

3.7.7 Composición química de las partes del grano de maíz⁽³⁾

Como se muestra en el Cuadro N°6, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química.

La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87%, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0,1%). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.⁽³⁾

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33% por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20%) y minerales.

Cuadro N°6. Composición química proximal de las partes principales del grano de maíz (%).⁽³⁾

| Componente químico | Pericarpio | Endospermo | Germen |
|--------------------|------------|------------|--------|
| Proteínas | 3.7 | 8.0 | 18.4 |
| Extracto etéreo | 1.0 | 0.8 | 33.2 |
| Fibra cruda | 86.7 | 2.7 | 8.8 |
| Cenizas | 0.8 | 0.3 | 10.5 |
| Almidón | 7.3 | 87.6 | 8.3 |
| Azúcar | 0.34 | 0.62 | 10.8 |

Se dispone de algunos datos sobre la composición química de la capa de aleurona (véase la Figura N°2), elemento con un contenido relativamente elevado de proteínas (aproximadamente el 19%) y de fibra cruda. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal.⁽³⁾

La distribución ponderal de las partes del grano, su composición química concreta y su valor nutritivo tienen gran importancia cuando se procesa el maíz para consumo; a este respecto, hay dos cuestiones de importancia desde la perspectiva nutricional: el contenido de ácidos grasos y el de proteínas.

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos; cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, quienes consumen el grano desgerminado obtendrán menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero elaborado.

Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente al de las proteínas del endospermo.⁽³⁾

Se expone esta situación en el Cuadro N°7, en el que los aminoácidos esenciales se expresan en forma de porcentaje de mg por peso y de mg por g de N. Por otro lado, el endospermo representa del 70 al 86% del peso del grano, y el germen del 7 al 22%.

Así pues, si se analiza todo el grano, el contenido de aminoácidos esenciales refleja el contenido de aminoácidos de las proteínas del endospermo, pese a que la configuración de éstos en el caso del germen es más elevada y mejor equilibrada.

Cuadro N° 7. Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz. ⁽³⁾

| Aminoácido | Endospermo | | Germen | | Proteína Modelo FAO/OMS mg/g N |
|-----------------|------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|
| | mg % | mg/g N | mg % | mg/g N | |
| Triptófano | 48 | 38 | 144 | 62 | 60 |
| Treonina | 315 | 249 | 622 | 268 | 250 |
| Isoleucina | 365 | 289 | 578 | 249 | 250 |
| Leucina | 1024 | 810 | 1030 | 444 | 440 |
| Lisina | 228 | 180 | 791 | 341 | 340 |
| Total azufrados | 249 | 197 | 362 | 156 | 220 |
| Fenilalanina | 359 | 284 | 483 | 208 | 380 |
| Tirosina | 483 | 382 | 343 | 148 | 380 |
| Valina | 403 | 319 | 789 | 340 | 310 |

No obstante, las proteínas del germen proporcionan una cantidad relativamente alta de determinados aminoácidos, aunque no suficiente para elevar la calidad de las proteínas de todo el grano.

El germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptófano, los dos aminoácidos esenciales limitantes en las proteínas del maíz. . Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptófano, al igual que las proteínas de todo el grano (véase el Cuadro N° 7, donde también figura el modelo de referencia de aminoácidos esenciales FAO/OMS).

La calidad superior de las proteínas del germen en comparación con las del endospermo de diversas muestras de maíz se pone de manifiesto en el Cuadro N°8, en el que se compara la calidad de ambas partes, en forma de porcentajes de la proteína de referencia, en este caso, caseína.

Las variedades del cereal estudiadas comprenden tres de maíz común y una de maíz de alta calidad proteica (ACP). En todos los casos, la calidad de las proteínas del germen es muy elevada en comparación con las del endospermo y patentemente superior a la calidad proteínica del grano entero.

La calidad de las proteínas del endospermo es inferior a la del grano entero, a causa de la mayor aportación de proteínas del germen.

Los datos muestran también una diferencia menor de calidad de las proteínas del germen y del endospermo en la variedad del ACP. Además, el endospermo del ACP y la calidad del grano entero es notablemente superior a la calidad del endospermo y del grano entero de las otras muestras.

Estos datos son también importantes para las modalidades de elaboración del maíz para el consumo y por sus consecuencias para el estado nutricional de los consumidores.

Cuadro N°8. Proteínas netas del grano entero, germen y endospermo de variedades de maíz, guatemaltecos. (En porcentaje de caseína al 100%).⁽³⁾

| Muestra | Amarillo | Azotea | Cuarenteño | Opaco-2 |
|--------------|----------|--------|------------|---------|
| Grano entero | 42.5 | 44.3 | 65.4 | 81.4 |
| Germen | 65.7 | 80.4 | 90.6 | 85.0 |
| Endospermo | 40.9 | 42.0 | 46.4 | 77.0 |

3.8 Valor nutritivo del maíz⁽³⁾

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar sólo una fuente de energía, sino que además suministran cantidades notables de proteínas. Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de éstas se halla limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales, sobre todo lisina.

Un hecho mucho menos conocido es que algunos cereales contienen un exceso de ciertos aminoácidos esenciales que influye en la eficiencia de la asimilación de las proteínas. Ejemplo clásico de ello es el maíz, pues otros cereales presentan limitaciones iguales, pero menos evidentes.

En el Cuadro N°9 se compara el valor nutritivo o calidad de las proteínas del maíz con la de otros ocho cereales, expresado en porcentajes de caseína. A excepción del arroz, la riqueza de proteínas del maíz común es similar a la de los demás cereales. Tanto el maíz opaco-2 como el ACP de endospermo duro (Nutricita) tienen un contenido de proteínas no solamente superior al del maíz común, sino también considerablemente superior al de los demás cereales.

Cuadro N°9. Calidad de proteínas del maíz y otros cereales. (3)

| Cereal | Calidad de las proteínas (% de caseína) |
|--------------|---|
| Maíz común | 32,1 |
| Maíz opaco-2 | 96,8 |
| ACP | 82,1 |
| Arroz | 79,3 |
| Trigo | 38,7 |
| Avena | 59,0 |
| Sorgo | 32,5 |
| Cebada | 58,0 |
| Centeno | 64,8 |

Numerosos investigadores han analizado las causas de la baja calidad de las proteínas del maíz, quienes consiguieron mejoras notorias en el crecimiento humano al complementar dietas de proteínas de maíz al 8% con un 0,25% de lisina.

Estos resultados han sido confirmados a lo largo del tiempo por otros científicos, en tanto que otros han mostrado que al agregar lisina al maíz sólo mejora levemente la calidad de las proteínas.

Esta diferencia de resultados se puede explicar por el distinto contenido de lisina de las variedades de maíz. Los estudios al respecto llevaron al descubrimiento por parte de Mertz, Bates y Nelson (1964) del maíz con elevado contenido de lisina denominado opaco-2. Según algunos investigadores, es el triptófano, no la lisina, el principal aminoácido limitante de las proteínas del maíz, lo cual puede ser cierto en el caso de algunas variedades con una concentración elevada de lisina o para productos de maíz que hayan sido

sometidos a algún tipo de elaboración.

Todos los investigadores han coincidido, en cambio, en que la adición simultánea de lisina y triptófano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales.

La mejora de calidad obtenida a raíz de la adición de lisina y triptófano ha sido pequeña en algunos estudios y más elevada en otros, tras la adición de otros aminoácidos. Al parecer, el aminoácido limitante de las proteínas de más importancia, después de la lisina y del triptófano, es la isoleucina, según se ha determinado en experimentos de alimentación animal. La mayoría de los investigadores que han indicado esos resultados señalan que el efecto de la adición de isoleucina se debe a un exceso de leucina que obstaculiza la absorción y la utilización de la isoleucina.

Se ha informado que la elevada ingestión de ésta, consumida con las proteínas del maíz aumenta las necesidades de niacina lo que podría causar, parcialmente, la pelagra.

Cuando se ha observado una respuesta a la adición de treonina, se ha interpretado como un efecto de este aminoácido para corregir los desequilibrios de aminoácidos ocasionados por la adición de metionina. Cabe atribuir una función similar a la isoleucina en los casos en que su adición ha dado lugar a una mejora de los resultados. De igual modo, la adición de valina, que hace disminuir la calidad de las proteínas, se puede contrarrestar añadiendo isoleucina o treonina.

La isoleucina parece ser, en cualquier caso, más eficaz que la treonina, pues produce resultados más coherentes, los que quizá se deban a que el maíz no

es deficiente ni en isoleucina ni en treonina. Sin embargo, algunas muestras pueden contener cantidades mayores de leucina, metionina y valina, y necesitan que se les agregue isoleucina y treonina además de lisina y triptófano, para mejorar la calidad de las proteínas. Sea como fuere, la adición de 0,30% de L-lisina y de 0,10% de L-triptófano aumenta fácilmente la calidad de las proteínas del maíz en un 150%.

Muchos de los efectos de los aminoácidos limitantes sobre las proteínas del maíz varían según el nivel de proteínas del maíz. Como se indicó anteriormente, el contenido de proteínas del maíz es un rasgo genético en el que influye el abono nitrogenado. El aumento del contenido de proteínas observado guarda estrecha correlación con la zeína, o proteína soluble en alcohol, que es baja en lisina y triptófano y contiene cantidades excesivas de leucina. Se halló una correlación elevada entre el contenido de proteínas y la zeína del maíz, hecho que han confirmado otros autores.

Utilizando distintas especies animales, diversos investigadores han llegado a la conclusión de que la calidad de las proteínas del maíz con bajo contenido de proteínas es superior a la del maíz con alto contenido, si las proteínas de las dietas examinadas son las mismas; por otro lado, comparando pesos iguales, el maíz con elevado contenido de proteínas tiene una calidad de éstas ligeramente superior a la del maíz con bajo contenido de proteínas.

En consecuencia, el nivel de proteínas de la dieta influye en la respuesta observada a una dieta suplementada con aminoácidos como lisina y triptófano, pero también a dietas complementadas con otros elementos, como isoleucina y treonina.

3.9 Antecedentes de los maíces más cosechados en el país. Híbrido de maíz H-59 y maíces ACP.

3.9.1 Formación del híbrido de maíz H-59₍₂₎

En 1994 se formaron una serie de híbridos triples y dobles con líneas élite de CIMMYT CML 247 Y CML 254 con líneas élite del Programa Nacional de Maíz. Los cuales se evaluaron posteriormente en ensayos regionales donde se identificó el potencial del híbrido H-59 (Híbrido triple).

La hibridación en maíz se considera como un método genotécnico que tiene como objetivo el aprovechamiento de la generación F1 proveniente del cruzamiento entre las poblaciones (P1 y P2) con cualquier estructura genotípica, las cuales pueden ser líneas endogámicas, variedades de polinización libre, variedades o sintéticos.

En el caso de cruza dobles, los pasos esenciales son: a) obtención de líneas homocigotas o cercanas a la homocigosis; b) evaluación y selección de líneas puras en todas las cruza posibles; y c) utilización de las mejores cruza para producción comercial. El híbrido triple se consigue cruzando un híbrido simple con una línea pura, ambos seleccionados por sus características de productividad y capacidad de adaptación y ocupa un lugar intermedio entre un híbrido simple y un doble. El aprovechamiento de líneas puras ha dado lugar a la formación de híbridos con alto rendimiento, los cuales superan a estructuras híbridas no convencionales.

3.9.2 Maíces de Alta Calidad Proteínica (ACP) difundidos en el país₍₇₎

Los híbridos Oro Blanco y Platino son maíces de alta calidad proteica (ACP) no transgénicos; el primero es trilineal y el segundo, trilineal modificado.

Ambos fueron generados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y evaluados por el Programa de Granos Básicos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova CENTA. (Véase Cuadro N° 10, para características agronómicas generales.)

Cuadro N°10. Características agronómicas de híbridos de maíz generados por CENTA. (7)

| Características | Híbridos | | |
|---|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| | H-59 | ORO BLANCO | PLATINO |
| Tipo de cultivar | Híbrido Triple | Híbrido doble (ACP) | Híbrido doble (ACP) |
| Ciclo vegetativo¹ | 110-115 días | 115-120 días | 115-120 días |
| Días a floración | 55 | 57 | 57 |
| Altura de mazorca (cm) | 135 | 112 | 130 |
| Reacción a sequía | No evaluada | No evaluada | No evaluada |
| Reacción al acame | Tolerante | Tolerante | Tolerante |
| No. Hileras/mazorca | 14 | 14 | 14 |
| Aspecto de tallo | Vigoroso | Vigoroso | Vigoroso |
| Color/tipo de grano | Blanco semi dentado | Blanco Cristalino | Blanco Cristalino |
| Potencial de rendimiento (qq/mz) | 95-100 | 95-100 | 95-102 |

¹ El ciclo vegetativo puede variar de acuerdo a la localidad, época de siembra y manejo.

Con la finalidad de verificar la calidad nutritiva del grano producido en campo de los agricultores, se realizaron análisis químicos para determinar los porcentajes de proteína y triptófano. El análisis se realizó en grano y semilla de Oro Blanco, Platino y H-59 (como comparador) (Cuadro N°11)

Cuadro N°11. Valor nutritivo de maíces de alta calidad proteica comparado con maíz común. 7)

| Cultivar | % Nitrógeno | % Triptófano | % Proteína | Índice de calidad |
|-----------------|--------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| Oro Blanco | 1.72 | 0.103 | 10.78 | 0.96 |
| Platino | 1.53 | 0.092 | 9.50 | 0.96 |
| H-59 | 1.64 | 0.040 | 10.23 | 0.40 |

La calidad del grano de los maíces de alta calidad de proteína no es notable a simple vista, ésta se logra por medio de los análisis químicos. Para asegurar que los maíces de ACP tienen alto valor nutritivo, estos deben contener un índice de calidad mayor de 0.80 lo cual indica que contienen el doble del aminoácido esencial triptófano.

Índice de calidad⁽¹⁸⁾

El índice de calidad representa la proporción de triptófano a proteína presente en la muestra, expresada en un porcentaje.

CAPITULO IV
DISEÑO METODOLOGICO

4.0 DISEÑO METODOLOGICO

4.1 Tipo de estudio

Este estudio es de carácter Experimental y Prospectivo.

- **Experimental:**

Porque se realizó el análisis de las determinaciones de Triptófano y Proteína en granos de maíz híbrido H-59 en las instalaciones del Laboratorio de Química Agrícola del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA) y las instalaciones del Laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

- **Prospectivo:**

Porque el estudio que se realizó puede servir de antecedente para futuras investigaciones relacionadas.

4.2 Investigación bibliográfica

Se recopiló la información de diferentes fuentes bibliográficas como libros, trabajos de graduación, manuales, entre otros en los siguientes lugares:

- Biblioteca Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA).
- Internet.

4.3 Investigación de Campo

4.3.1 Universo

El universo que es referido en este estudio, está constituido por la semilla de maíz híbrido H-59 que se obtuvo en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA) y de granos de maíz híbrido H-59 de la cosecha postrera de 2012 en El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán.

4.3.2 Toma de muestra

Con el propósito de comparar el contenido de proteína y triptófano entre la semilla y el grano de maíz híbrido H-59 cosechado en el país, la toma de muestra fue dirigida a la cosecha de semillas de maíz híbrido H-59 que se encuentran almacenadas en la bodega de semillas de granos básicos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA), y del grano de maíz híbrido H-59 cosechado por agricultores locales, en la zona de El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba, del Municipio de San Francisco Menéndez en el Departamento de Ahuachapán (Ver Anexo N°11 para ver la codificación de las muestras tanto de semilla como de grano)

Las muestras de semilla de maíz híbrido H-59, que fueron proporcionadas por el CENTA se tomaron en el mes de mayo de 2013, estas se encontraban almacenadas en la bodega de granos básicos de la institución, contenidas en sacos, de donde se tomaron 9 muestras, seleccionando al azar el mismo número de sacos. Se extrajeron de cada saco de 5 a 10 puños de semilla de maíz tratando de tomar muestras de la parte superior, media, e inferior del saco, almacenándolas en bolsas de papel Kraft con su respectiva información (Fecha de recolección, código de identificación, lugar de recolección y persona responsable de la recolección).

La toma de los granos de maíz híbrido H-59, se realizó en el mes de mayo de 2013 en el municipio de San Francisco Menéndez, en los hogares de agricultores de la zona del Caserío La Ceiba, Cantón la Ceiba que obtienen la semilla de maíz a través de los paquetes de agricultura familiar proporcionados por el CENTA y que posteriormente cosechan.

La zona en su mayoría presenta suelo de tipo franco arcilloso, la fertilización para cultivo de maíz se realiza en dos aplicaciones, la primera con formula NPK (16-20-0) a los 15 días de sembrado y la segunda se realiza de los 30 a 35 días después de la primera utilizándose sulfato de amonio o el equivalente de urea al 46% de nitrógeno, cada aplicación se realiza con 4 quintales de fertilizante por manzana.

Se tomaron 9 muestras de grano de maíz de los silos de almacenaje seleccionados al azar de igual número de hogares; tomando del silo de 5 a 10 puños de grano de maíz, almacenando cada muestra en bolsas de papel kraft con su respectiva información (Fecha de recolección, código de identificación, lugar de recolección y persona responsable de la recolección).

Posteriormente a la toma de la muestra, donde se obtuvieron un total de 18 muestras entre semilla y grano de maíz híbrido H-59, cada muestra fue preparada (ver 4.5.1), y se utilizó para la cuantificación de proteína y de triptófano.

Además se determinó el porcentaje de Lisina indirectamente debido a la relación que existe entre esta y el triptófano (de 4 a 1)₍₁₇₎

4.4 Fundamento de los métodos

4.4.1 Fundamento del método de la determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico₍₁₅₎

Este método se basa en la reacción de Hopkins-Cole, por medio de la cual una

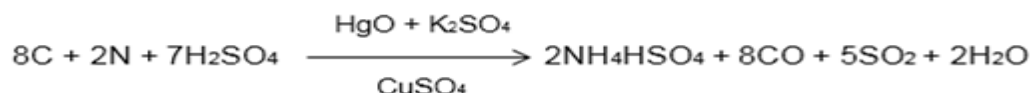
molécula de ácido glioxílico reacciona con dos moléculas de triptófano (anillo indólico) y forma un complejo coloreado en presencia de cloruro férrico en medio ácido (color violeta), dicha coloración es medida en un colorímetro adecuado a una longitud de onda de 560nm (Región visible).

4.4.2 Fundamento del método de la determinación de proteína cruda por el método Micro-Kjeldahl ⁽¹⁵⁾

El método consiste en determinar el nitrógeno proteínico mediante cuatro pasos que son:

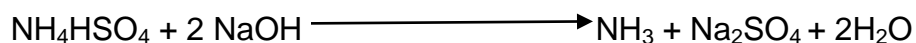
Digestión

Consiste en quemar toda la materia orgánica con ácido sulfúrico (gravedad específica 1.84), oxidando el grupo COO⁻ y reduciendo el nitrógeno a amoníaco, en forma de sulfato ácido de amonio.



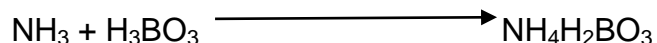
Destilación

Consiste en el desprendimiento del amoníaco, por efecto de un álcali fuerte (NaOH)



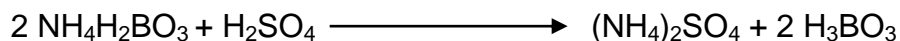
Fijación

El amoníaco que se desprende, se fija en una solución de ácido bórico al 4%, formando borato di-acido de amonio.



Titulación

Luego que el amoniaco se ha fijado en la solución de ácido bórico, se titula de inmediato con ácido sulfúrico 0.02 N, el cual desplaza el ion amonio y forma sulfato de amonio más ácido bórico.



4.5 Parte experimental

4.5.1 Preparación de la muestra para análisis de triptófano y proteína en grano entero de maíz ⁽⁴⁾

Muestreo y molienda⁽⁴⁾

1. Seleccionar al azar de 20 a 30 granos que se encuentren en buen estado, como muestra representativa del material.
2. Si los granos han sido tratados con algún tipo de insecticida, lavar los granos con agua de la llave y posteriormente enjuagarlos con agua destilada. Dejar secar los granos a temperatura ambiente.
3. Triturar en un mortero con ayuda del pistilo finamente cada muestra; tamizar la muestra utilizando un tamiz No. 50. (Ver Anexo N°12)

Desengrasado⁽⁴⁾

4. Colocar 2.0 g de muestra molida en un cartucho de papel filtro. (Ver Anexo N°12)
5. Armar un extractor continuo tipo Soxhlet y colocar el cartucho con la muestra.
6. Desengrasar las muestras durante ocho horas, con aproximadamente 200 mL de éter de petróleo.

7. Al finalizar el tiempo secar las muestras al aire y asegurarse que todo el éter se halla evaporado de los cartuchos que contienen las muestras.

4.5.2 Determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico⁽⁴⁾

Procedimiento (Ver Anexo N°6 para el esquema correspondiente)

Digestión⁽⁴⁾

1. Pesar 80 mg de cada muestra molida y desengrasada, en un tubo Falcón de capacidad de 15 mL.
2. Agregar 3.0 mL de solución de papaína. (Ver Anexo N° 8 y 12)
3. Incluir por lo menos 2 blancos y 4 testigos (2 controles de maíz ACP y 2 controles de maíz normal con concentraciones conocidas de triptófano) a la curva de calibración con concentraciones de 0, 10, 15, 20, 25, 30 µg/mL.
4. Agitar vigorosamente las muestras, los 2 blancos, y los 4 testigos en el vortex por 10 segundos y colocarlas en una incubadora a 65°C durante 16 horas.
5. Agitarlas las muestras dos veces más en el vortex, una hora después de colocarlas en la estufa y una hora antes de que termine el período de incubación (16 horas). Asegurarse de que no haya evaporación durante la incubación.
6. Sacar los tubos de la estufa y dejarlos enfriar a temperatura ambiente Posteriormente centrifugar los tubos a 3600 rpm por 20 minutos.

Si el sobrenadante presenta partículas flotando de las muestras, volver a centrifugar los tubos.

Reacción colorimétrica⁽⁴⁾

7. Con mucho cuidado, transferir 1.0 mL del hidrolizado (sobrenadante) a un tubo de vidrio.
8. Agregar 3.0 mL del reactivo colorimétrico (Ver Anexo N° 8 y 12)
9. Agitar vigorosamente cada muestra por 10 segundos en el vortex.
10. Incubar los tubos en la estufa a 64 °C por 30 minutos para que se desarrolle el color.
11. Sacar los tubos de la estufa y dejarlos enfriar a temperatura ambiente.
12. Leer la absorbancia a 560 nm en un espectrofotómetro UV-Visible.

Preparación de la curva estándar⁽⁴⁾

13. Preparar una solución concentrada de 100 µg/mL de triptófano disuelto en agua desionizada (preparar cada semana y almacenar a 4 °C).
14. En tubos falcón de capacidad de 15 mL, preparar diariamente diluciones de 0, 10, 15, 20, 25 y 30 µg/mL (en acetato de sodio 0.1 M con pH 7).
15. Agitar cada tubo de cada estándar en el vortex por 10 segundos.
16. Hacer los pasos del 7 al 12 utilizando 1.0 mL de cada una de las diluciones.

Cuadro N° 12. Preparación de la curva estándar de triptófano.

| Tubo N° | Solución concentrada de Trp [100 µg/mL](mL) | Acetato de sodio 0.1 M, pH 7,0 (mL) | Volumen total (mL) | Concentración µgTrp/mL |
|---------|---|-------------------------------------|--------------------|------------------------|
| 1 | 0.0 | 10.0 | 10.0 | 0.0 |
| 2 | 1.0 | 9.0 | 10.0 | 10.0 |
| 3 | 1.5 | 8.5 | 10.0 | 15.0 |
| 4 | 2.0 | 8.0 | 10.0 | 20.0 |
| 5 | 2.5 | 7.5 | 10.0 | 25.0 |
| 6 | 3.0 | 7.0 | 10.0 | 30.0 |

4.5.3 Cálculos de determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico⁽⁴⁾

Curva estándar de triptófano (curva de calibración)

Desarrollar una curva de calibración utilizando cantidades conocidas de triptófano, desde 0 hasta 30 µg/mL.

Graficar las lecturas de absorbancia a 560 nm como una función de la concentración y calcular la pendiente (m) de la curva estándar.

Nota: con la pendiente se usa la unidad OD*mL/µg. (OD:Optical Density o Abs.)

Cálculo del porcentaje de triptófano⁽⁴⁾

La cantidad de triptófano tanto en controles como en muestras se estima utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{Trp} = \frac{\text{OD } 560\text{nm}}{\text{Pendiente}} \times \frac{\text{Volumen de digestion(mL)}}{\text{Peso de la muestra}(\mu\text{g})} \times 100$$

Sin embargo, la cantidad obtenida por esta fórmula incluye el triptófano presente en la muestra, más el presente en la papaína.

Por lo tanto, el porcentaje de triptófano deberá calcularse a partir del valor corregido de absorción.

$$\% \text{Trp} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} \times \text{Factor}$$

Donde la absorbancia corregida a 560 nm se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ muestra} - \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ blanco}$$

$$\text{Factor} = \frac{0.00375}{\text{Pendiente}}$$

Note que el factor procede de:

$$\frac{\text{Volumen de digestión (mL)}}{\text{Peso de muestra } (\mu\text{g})} \times 100 = \frac{3 \text{ mL}}{80000 \mu\text{g}} \times 100 = 0.00375$$

En general, una muestra con más de 0.070% de triptófano en grano completo es considerada ACP.

No obstante, esta condición depende también del contenido de proteína y, por lo tanto, del valor del índice de calidad (% Trp/proteína).

4.5.4 Determinación de proteína cruda por el método Micro-Kjeldahl

Procedimiento₍₁₎ (Ver Anexo N°7 para el esquema correspondiente)

1. Pesar de 230 a 240 mg de muestra previamente molida y desengrasada en el frasco de digestión, agregar 1.0 g de mezcla catalítica o Kelpack y 30 mL de ácido sulfúrico concentrado. (Ver Anexo N°8)
2. Digerir la muestra durante 40 minutos o hasta que aclare, enfriar y agregar una mínima cantidad de agua destilada para disolver los sólidos permanentes, enfriar nuevamente.
3. Transferir la digestión al aparato de destilación, lavar los residuos con una alícuota de agua destilada (10 mL)
4. En un erlenmeyer de 125 mL, colocar 8.0 mL de solución de ácido bórico y agregar cuatro gotas de solución indicadora de rojo de metilo en verde de bromocresol, tener cuidado al colocar el erlenmeyer, que el extremo del condensador quede debajo la superficie de las soluciones de ácido bórico.
5. Agregar en el menor tiempo posible al balón de destilación 10.0 mL de solución de hidróxido de sodio y destilar inmediatamente hasta obtener unos 50.0 mL de destilado.

6. Titular con ácido sulfúrico 0.02 N hasta la primera aparición de un color verde violeta.
7. Llevar un blanco usando los mismos reactivos, el mismo tiempo de digestión y obteniendo el mismo volumen de destilación que la muestra.

4.5.5 Cálculos para la determinación de proteína cruda por el método Micro-Kjeldahl:

$$\%N = \frac{\text{mL de ácido titulación muestra} - \text{mL de ácido titulación blanco} \times N \text{ ácido} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra en gramos}}$$

$$\text{Proteína cruda} = \%N \text{ (g/100 g)} \times 6.25$$

Cálculos para determinar el porcentaje de lisina en grano entero de maíz⁽¹⁷⁾

Debido a la relación que existe entre el contenido de estos dos aminoácidos en la proteína del maíz (por 1 unidad de triptófano, hay 4 unidades de lisina), el porcentaje de lisina se obtendrá indirectamente a partir del porcentaje de triptófano cuantificado; de la siguiente manera:

$$\%Lisina = \%Triptófano \times 4$$

Dónde: 4 es el valor de la relación de lisina con respecto al triptófano.

4.5.6 Interpretación de los resultados de laboratorio en la determinación de Proteína y Triptófano en grano entero de maíz⁽¹⁸⁾

Los valores de proteína y triptófano que se obtienen del laboratorio se refieren a cierto número de muestras y se expresan en porcentajes. Si el valor correspondiente al triptófano es del 0.08% (g/100g de proteína), esto se refiere a la cantidad de triptófano presente en esas muestras y no al porcentaje del mismo en la proteína.

Cálculos para determinar el Índice de calidad en grano entero de maíz

El índice de calidad representa la proporción de triptófano a proteína presente en la muestra, expresada en un porcentaje. Por ejemplo:

- Si el triptófano presente en la muestra es 0.08% (g /100 g de proteína) y la proteína en la muestra es 10%(g/100g de muestra) entonces el IC = $100 \times 0.08 / 10$, lo que es igual a 0.8

Debido a esta relación descrita existe una correlación negativa entre⁽¹⁸⁾:

- La cantidad y la calidad de la proteína.
- El porcentaje de la proteína y el índice de calidad

A continuación se presenta el Cuadro N°13, donde se muestra una guía rápida para interpretar y comparar los resultados obtenidos en el laboratorio con los valores esperados para maíz ACP y para maíz normal en cuanto al contenido en porcentaje de proteína, lisina, triptófano e índice de calidad.

Cuadro N°13. Guía rápida para interpretar los resultados de la determinación de proteína y triptófano en granos de maíz. ⁽¹⁸⁾

| Todos los valores se dan en % | | ACP | Maíz normal |
|-------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| En proteína | Proteína | ≥ 8 | ≥ 8 |
| | Lisina | 4 | 2 |
| | Triptófano | > 0.65 | <0.60 |
| En la muestra | | Grano entero | Endospermo |
| | Triptófano | > 0.075 | > 0.070 |
| | Índice de calidad | > 0.80 | > 0.70 |

NOTA: Los valores de proteína, lisina y triptófano que están en (%) están expresados en g/100 g de muestra.

4.6 Diseño estadístico^(9,14)

Con el objetivo de determinar el contenido de triptófano y proteína en las muestras de maíz híbrido H-59 se aplicó un diseño completamente al azar con dos tratamientos, el primero de semilla de maíz liberado por el CENTA y el segundo de grano de maíz cosechado en el Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba, Municipio de San Francisco Menéndez Departamento de Ahuachapán, las variables a determinar fueron: cuantificación de triptófano y proteína en la semilla y grano de maíz híbrido H-59.

Para el análisis de los resultados se procedió a la utilización de la prueba T de Student para análisis de muestras pareadas, para determinar si existían diferencias significativas entre las variables de la cuantificación de proteína y triptófano de semilla de maíz liberado por el CENTA y el grano de maíz cosechado analizado, utilizando en ambos casos un nivel de confianza del 95%.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.0 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Los datos obtenidos en las determinaciones, fueron comparados con los valores de referencia para maíz normal en estudios recientes⁽⁸⁾ exponen que los valores de proteína oscilan en un rango del 9.1 a 13.1% y presentan un contenido de triptófano del 0.04%; mientras que los valores para maíz normal, específicamente el maíz híbrido H-59 que presenta la guía técnica del cultivo de maíz del CENTA⁽⁷⁾ puntúan un valor promedio de contenido de proteína del 10.23% y de triptófano del 0.04%.

NOTA: Los valores de proteína y triptófano que están en porcentaje están expresados en g/100 g de muestra.

A continuación se exponen los objetivos específicos planteados al inicio del estudio y seguido a este su cumplimiento y correspondiente discusión de los resultados obtenidos.

5.1 Determinar el porcentaje de proteína presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en el departamento de Ahuachapán.

Se muestran en la tabla N°1, los resultados de la determinación de proteína obtenidos de la semilla proveniente del CENTA y del grano cosechado proveniente del Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez departamento de Ahuachapán. (Anexo N°13 para los cálculos)

Como se puede observar en la Tabla N°1 y en la figura N°3; las muestras de semilla provenientes del CENTA se encuentran en un rango que oscila entre 12.01 a 14.18%, obteniendo un promedio de 12.97% de proteína; éste valor se encuentra dentro del intervalo establecido en estudios anteriores⁽⁷⁾ de 9.1 a 13.1%; por otro lado, la guía técnica: el cultivo del maíz del CENTA⁽⁷⁾ plasma

Tabla N°1. Resultados de la determinación de proteína en la semilla y grano de maíz híbrido H-59.

| | Procedencia / Identificación de Muestra | Proteína (%) (g/100 g muestra) |
|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| | Semilla de CENTA | SC-01 |
| SC-02 | | 12.23 |
| SC-03 | | 12.01 |
| SC-04 | | 12.48 |
| SC-05 | | 14.18 |
| SC-06 | | 14.11 |
| SC-07 | | 13.39 |
| SC-08 | | 12.45 |
| SC-09 | | 12.32 |
| Promedio | | 12.97 |
| Grano cosechado de Ahuachapán | GA-01 | 10.75 |
| | GA-02 | 11.41 |
| | GA-03 | 12.37 |
| | GA-04 | 11.24 |
| | GA-05 | 11.81 |
| | GA-06 | 10.96 |
| | GA-07 | 10.79 |
| | GA-08 | 11.97 |
| | GA-09 | 9.57 |
| | Promedio | 11.21 |

como valor promedio 10.23% de proteína para maíz híbrido H-59, a partir de ello se puede decir que el 100% de las muestras de semillas analizadas

registraron valores mayores en comparación con el valor promedio reportado por el CENTA.

Además las muestras de grano cosechado, se ubican en un rango de 9.57 a 12.37%, con un promedio de 11.21% de proteína estando comprendida entre los rangos conocidos, de proteína para maíces normales de 9.1 a 13.1%⁽⁷⁾, comparando también con el valor, que registra la guía técnica: el cultivo del maíz, del CENTA⁽⁷⁾, de proteína para maíz híbrido H-59 el cual es 10.23%, donde el 88.8% de las muestras analizadas registraron valores mayores al comparar con respecto a éste.

Al comparar la semilla con el grano, se observa que los valores de proteína cruda son mayores en la semilla (promedio 12.97%) que en el grano (promedio 11.21%) existiendo una diferencia de 1.76% de proteína.

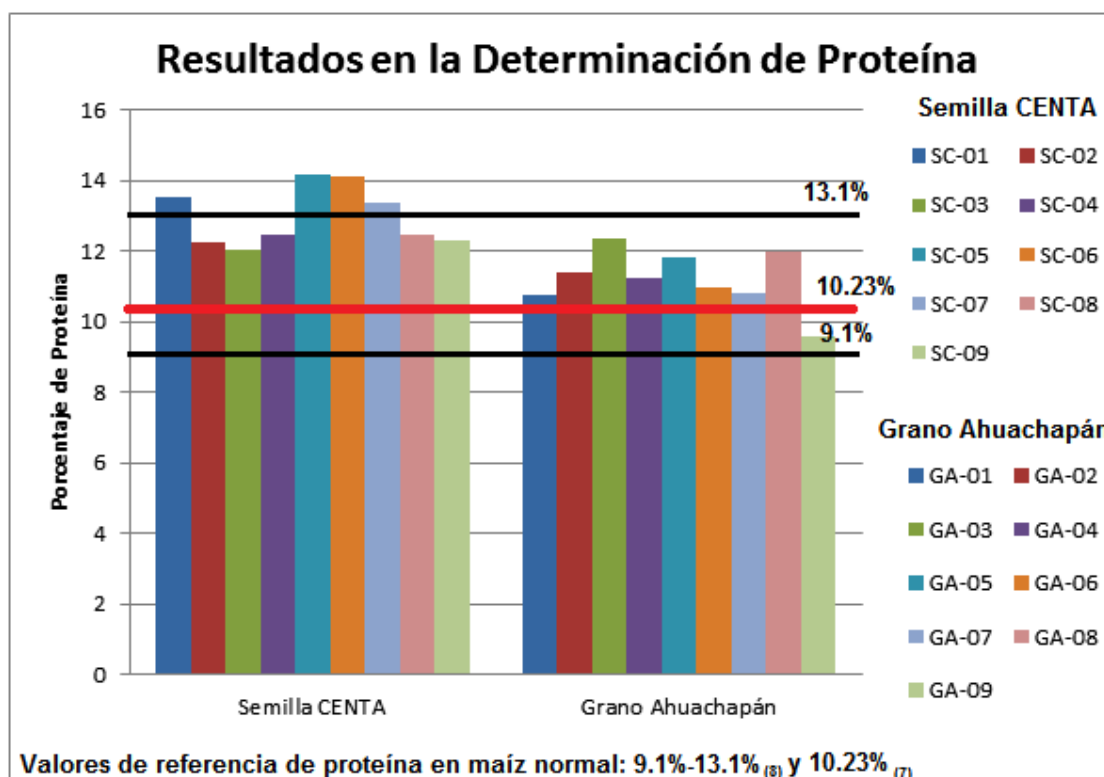


Figura N°3. Resultados en la determinación de proteína en semilla y grano de maíz híbrido H-59.

Se debe destacar también que el contenido de proteínas está directamente influenciado por la fertilización nitrogenada que se le realice al cultivo, aunque también, resulta determinante la información genética que tiene cada variedad de maíz⁽⁸⁾. Considerando que las muestras analizadas en este estudio tienen la misma caracterización genética, podría presumirse que la diferencia observada de los porcentajes de proteína entre el grano y la semilla (1.76%) probablemente se atribuye, a la variación en la utilización de fertilizantes nitrogenados por parte de los agricultores en su ciclo de cultivo.

No obstante, el aumento observado en los valores del contenido de proteína de la semilla y grano con respecto al valor de referencia del porcentaje de proteína(10.23%) que reporta la guía técnica del cultivo del maíz del CENTA,⁽⁷⁾ puede deberse a la cercanía entre las parcelas donde se cultivan las semillas de maíz híbrido H-59 y la de los cultivos de semillas de las variedades de alta calidad proteica (ACP) que se producen en la institución, según lo que expresó el ingeniero Héctor Deras⁽⁷⁾ jefe de la unidad de granos básicos a cargo de la producción de la semilla de maíz híbrido H-59, lo que estaría incidiendo positivamente en la calidad del valor nutricional de la misma.

Ahora bien, es necesario considerar que el valor de un alimento como fuente de proteína depende no sólo de la cantidad que contenga, sino del contenido específico en aminoácidos. Las proteínas por si solas no son esenciales como nutrientes, pero contienen aminoácidos esenciales y nitrógeno.⁽⁸⁾

5.2 Cuantificar el porcentaje de triptófano en la semilla y grano cosechado del híbrido de maíz en estudio por el método del ácido glioxílico.

De las semillas y granos de maíz híbrido H-59 previamente preparados, utilizados para la determinación de proteína; se tomaron las porciones respectivas para el análisis de triptófano, en la cual además de las muestras se

se analizaron dos controles tanto de maíz normal como de maíz ACP; obteniéndose así, los resultados que se exponen a continuación en la Tabla N°2. (Ver Anexo N° 14 para los cálculos)

Tabla N°2. Resultados de la determinación de triptófano obtenidos en los controles de maíz normal y ACP.

| Identificación de la Muestra | Triptófano (%) (g /100 g de muestra) |
|------------------------------|---|
| Control Maíz Normal CIMMYT | 0.043 |
| Control Maíz ACP Dorado V | 0.140 |

Además, se detallan los resultados obtenidos de la semilla y grano cosechado en la Tabla N°3 y la Figura N°4 que se muestran a continuación.

Tabla N°3: Resultados de la determinación de triptófano en la semilla y el grano de maíz híbrido H-59.

| Procedencia/Identificación de la muestra | | Triptófano (%) (g /100 g de muestra) |
|--|-----------------|---|
| Semilla CENTA | SC-01 | 0.037 |
| | SC-02 | 0.058 |
| | SC-03 | 0.057 |
| | SC-04 | 0.070 |
| | SC-05 | 0.098 |
| | SC-06 | 0.091 |
| | SC-07 | 0.103 |
| | SC-08 | 0.068 |
| | SC-09 | 0.099 |
| | Promedio | 0.075 |
| Grano Cosechado Ahuachapán | GA-01 | 0.061 |
| | GA-02 | 0.047 |
| | GA-03 | 0.057 |
| | GA-04 | 0.078 |
| | GA-05 | 0.069 |
| | GA-06 | 0.073 |

Tabla N°3. (Continuación)

| Grano Cosechado Ahuachapán | Procedencia/Identificación de la muestra | Triptófano (%) (g /100 g de muestra) |
|-------------------------------|--|---|
| | | GA-07 |
| | GA-08 | 0.071 |
| | GA-09 | 0.058 |
| | Promedio | 0.065 |

En cuanto al contenido de triptófano de las muestras de semilla de maíz híbrido H-59 producidas por CENTA el 88.8% de las muestras presentaron valores mayores al control de maíz normal utilizado en el análisis, mientras que ninguna de éstas presentó un valor mayor o igual al control de maíz ACP usado como testigo. Con respecto a las muestras de grano de maíz híbrido H-59 cosechadas provenientes del Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba, del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán; el 100% de las muestras presentaron valores mayores al del control de maíz normal; sin embargo ninguna de éstas presentó un valor mayor o igual al control de maíz ACP.

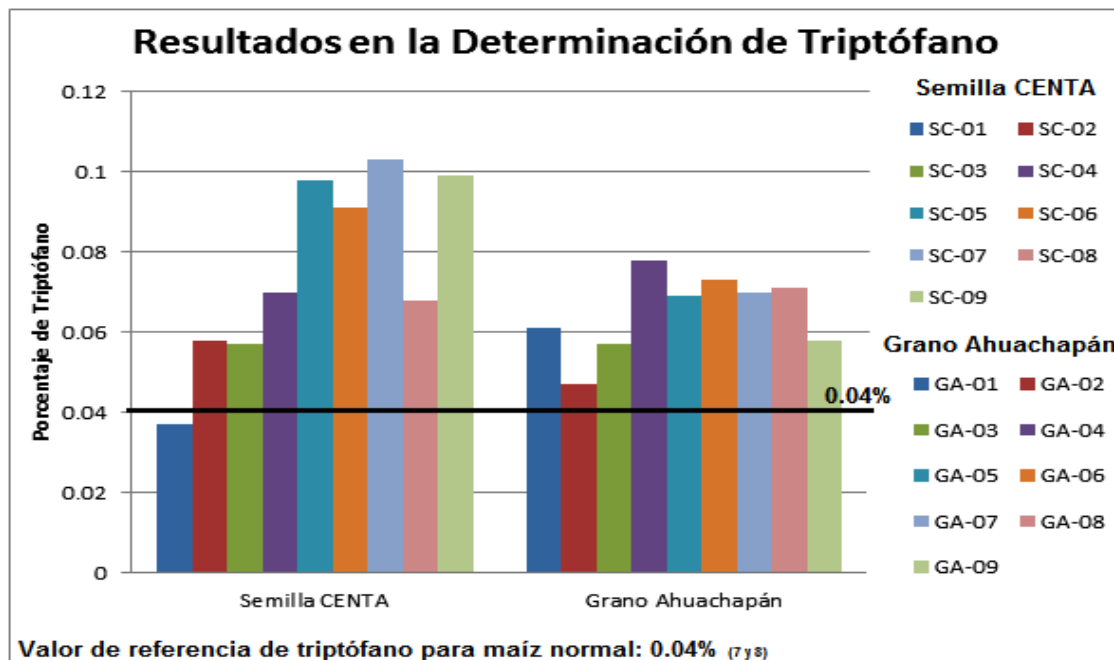


Figura N°4. Resultados en la determinación de triptófano en semilla y grano

Al comparar los resultados se observa que la semilla de maíz híbrido H-59 oscila entre un rango del 0.037 a 0.103% de triptófano, lo que equivale al 88.8% del total de las muestras; con un promedio de 0.076%; valor que es mayor al de referencia bibliográfica⁽⁸⁾ de 0.04% (para las variedades de maíz normal, parámetro que coincide con el reportado en la guía técnica: el cultivo del maíz del CENTA para maíz híbrido H-59 específicamente⁽⁷⁾) por otro lado, el grano de maíz cosechado presenta un rango de 0.047 a 0.078% de triptófano con un valor promedio de 0.065%; lo que implica que el 100% de las muestras es mayor con respecto al valor de referencia utilizado.

El aumento observado en el porcentaje de triptófano que se presenta tanto en la semilla como en el grano de maíz híbrido H-59 en comparación con el valor de referencia y al valor del control de maíz normal utilizado como testigo, se presume pueda estar relacionado a la coexistencia cercana que tienen las parcelas de semillas de éste híbrido con respecto a otras variedades de semillas de maíz ACP también producidas por el CENTA; por lo que éste aumento también se ve reflejado en el contenido de triptófano presente en el grano cosechado; sin embargo, éste aumento no es significativo en la calidad del valor nutricional del mismo reflejado en el índice de calidad en el cual no se reportan diferencias significativas ya que los valores promedio de la semilla y del grano en cuanto a éste son iguales (0.58%; ver Tabla N°4), por lo que el contenido de triptófano, presente en las muestras de semilla y de grano cosechado del híbrido de maíz H-59, no aporta un aumento al índice de calidad reportado para ambos.

Con respecto al índice de calidad; tanto la semilla como el grano registran valores similares en los promedios (ver Tabla N°4) y se mantienen al mismo tiempo levemente bajos, aunque dentro del porcentaje esperado para el índice de calidad en maíz normal (menor al 0.8%⁽¹⁸⁾); se destaca también, que existe una relación negativa entre el porcentaje de proteína y el índice de calidad, es

decir, al ser mayor el contenido de proteína disminuye el índice de calidad, lo que se deba probablemente a las practicas agrícolas de fertilización nitrogenada, factor que aumenta el contenido de proteína en el maíz y en otros cultivos, pero disminuye su valor biológico; es decir, disminuye la calidad de la proteína presente en el maíz, al aumentar el porcentaje de nitrógeno y permanecer inalterable el contenido de aminoácidos esenciales, especialmente los aminoácidos limitantes del maíz, que son el triptófano y la lisina.⁽⁸⁾

El contenido de lisina, que se determinó de manera indirecta, muestra una tendencia similar con respecto al triptófano, es decir, que se encuentran valores un poco más altos en la semilla que en el grano cosechado de maíz híbrido H-59 como se muestra en la Tabla N°4, sin embargo esta variación no representa una diferencia significativa entre ambos.

A continuación se presenta la Tabla N°4, en donde se resumen los resultados obtenidos del porcentaje de nitrógeno, proteína, triptófano, lisina e índice de calidad en semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59; para los cálculos ver Anexos 13, 14, 15 y 16, respectivamente.

Tabla N°4. Resumen de resultados del porcentaje de nitrógeno, proteína, triptófano, lisina e índice de calidad en semilla y grano de maíz híbrido H-59.

| Procedencia/ Identificación de la muestra | | Nitrógeno (%)* | Proteína (%)* | Triptófano (%)* | Lisina (%)* | Índice de Calidad (%) |
|---|-------|-------------------|------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|
| Semilla CENTA | SC-01 | 2.164 | 13.53 | 0.037 | 0.148 | 0.27 |
| | SC-02 | 1.957 | 12.23 | 0.058 | 0.233 | 0.48 |
| | SC-03 | 1.921 | 12.01 | 0.057 | 0.229 | 0.48 |
| | SC-04 | 1.997 | 12.48 | 0.070 | 0.278 | 0.56 |
| | SC-05 | 2.268 | 14.18 | 0.098 | 0.391 | 0.69 |

Tabla N°4. (Continuación).

| Procedencia/ Identificación de la muestra | | Nitrógeno (%)* | Proteína (%)* | Triptófano (%)* | Lisina (%)* | Índice de Calidad (%) |
|---|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|
| | SC-06 | 2.258 | 14.11 | 0.091 | 0.362 | 0.64 |
| | SC-07 | 2.142 | 13.39 | 0.103 | 0.413 | 0.77 |
| | SC-08 | 1.991 | 12.45 | 0.068 | 0.270 | 0.54 |
| | SC-09 | 1.971 | 12.32 | 0.099 | 0.395 | 0.80 |
| | Promedio | 2.074 | 12.97 | 0.075 | 0.302 | 0.58 |
| Grano Cosechado Ahuachapán | GA-01 | 1.720 | 10.75 | 0.061 | 0.244 | 0.57 |
| | GA-02 | 1.825 | 11.41 | 0.047 | 0.188 | 0.41 |
| | GA-03 | 1.979 | 12.37 | 0.057 | 0.228 | 0.46 |
| | GA-04 | 1.799 | 11.24 | 0.078 | 0.312 | 0.69 |
| | GA-05 | 1.889 | 11.81 | 0.069 | 0.276 | 0.58 |
| | GA-06 | 1.754 | 10.96 | 0.073 | 0.292 | 0.67 |
| | GA-07 | 1.726 | 10.79 | 0.070 | 0.280 | 0.65 |
| | GA-08 | 1.916 | 11.97 | 0.071 | 0.284 | 0.60 |
| | GA-09 | 1.531 | 9.57 | 0.058 | 0.232 | 0.61 |
| | Promedio | 1.793 | 11.21 | 0.065 | 0.259 | 0.58 |

*Los valores en porcentaje de nitrógeno, proteína, triptófano y lisina están expresados en g/100 g de muestra.

5.3 Evaluar si existen diferencias significativas del contenido de proteína y triptófano entre la semilla liberada por el CENTA y el grano cosechado en el departamento de Ahuachapán.

Para el análisis estadístico se utilizó la prueba T de student para muestras pareadas, para evaluar la existencia de diferencias significativas del contenido de proteína y triptófano entre la semilla producida por el CENTA y el grano proveniente del departamento de Ahuachapán. A continuación se presentan los

resultados y la respectiva interpretación.

**a. Resultados de prueba T de student para muestras pareadas:
Contenido de proteína en semilla y grano.**

La prueba se realizó haciendo uso de una hoja de cálculo de Microsoft Excel; los cálculos se detallan a continuación y los resultados obtenidos se muestran más adelante en la Tabla N°5.

Tabla N°5. Cálculos aplicando la prueba T de student para muestras pareadas.

Proteína.

| Semilla de CENTA (μ_1) | Grano cosechado de Ahuachapán (μ_2) | di ($\mu_1 - \mu_2$) | (di-d) ² |
|------------------------------|---|------------------------|---------------------|
| 13.53 | 10.75 | 2.7804 | 7.67107 |
| 12.23 | 11.41 | 0.8242 | 0.66176 |
| 12.01 | 12.37 | -0.3613 | 0.13840 |
| 12.48 | 11.24 | 1.2367 | 1.50314 |
| 14.18 | 11.81 | 2.3680 | 5.55712 |
| 14.11 | 10.96 | 3.1526 | 9.87177 |
| 13.39 | 10.79 | 2.5985 | 6.69665 |
| 12.45 | 11.97 | 0.4734 | 0.21410 |
| 12.32 | 9.57 | 2.7461 | 7.48251 |
| --- | $\Sigma =$ | 15.8185 | 39.7965 |

$$Df = \frac{\Sigma(\mu_1 - \mu_2)}{n} = \frac{15.8185}{9}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\Sigma(di-d)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{39.7965}{8}}$$

Donde:

| n | Diferencia de las medias (di) | Media de las Diferencias (Df) | Desviación Estándar de las muestras (Sd) | Error Típico Diferencial |
|---|-------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|
| 9 | 15.8185 | 1.7576 | 1.2415 | 0.4138 |

Aplicando la prueba t para muestras pareadas y tomando en cuenta los siguientes parámetros se tiene:

Distribución: normal o aproximadamente normal

Nivel de confianza: 95%; **Nivel de Significancia (α):** 0.05

Varianza de la diferencia de medias: desconocida

Hipótesis Nula (Hipótesis a prueba) (H_0): Establece que no hay diferencias significativas entre las medias de proteína para la semilla proveniente de CENTA (μ_1) y el grano cosechado proveniente de Ahuachapán (μ_2); es decir:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad \circ \quad \mu_d: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

-Hipótesis alternativa (H_1): Establece que si hay diferencias significativas entre las medias de proteína para la semilla proveniente de CENTA (μ_1) y el grano cosechado proveniente de Ahuachapán (μ_2); es decir:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad \circ \quad \mu_d: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Donde: (μ_d : Diferencia de las medias)

Calculando el estadístico t:

$$t = \frac{(d-d_0)}{Sd/\sqrt{n-1}} = \frac{(1.7576-0)}{0.4138} = 4.2471$$

Donde:

d= Media de las diferencias

d_0 = Diferencia hipotética de las medias

Sd= Desviación estándar

Tabla N°6. Resultados de prueba T para dos muestras pareadas: contenido de proteína en semilla y grano cosechado.

| | Semilla de CENTA | Grano cosechado de Ahuachapán |
|--|-----------------------|-------------------------------|
| Media | 12.965274 (μ_1) | 11.207661 (μ_2) |
| Varianza | 0.706793 | 0.683352 |
| Observaciones | 9 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 8 | |
| Estadístico t | 4.247137 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.002810 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.306004 | |

Interpretación de la prueba T student para dos muestras pareadas

La hipótesis nula establece que las medias de las dos muestras son iguales, es decir, su diferencia será cero. Para comprobar si esto es así, que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias, la prueba T permite evaluar la región de aceptación de la hipótesis para un contraste bilateral, que en este caso, para un nivel de confianza del 95%, está comprendida entre los valores críticos de t (dos colas) mayores de -2.306004 y menores de 2.306004 por tanto dado que el valor del estadístico t calculado es igual a 4.247137 que es mayor que el valor crítico positivo dado por Excel, (los valores provenientes de tablas son aproximados por ello se prefiere el uso de paquetes de software estadístico, ya que estos proporcionan valores más precisos), de manera gráfica puede observarse en la Figura N°5 que éste valor del estadístico t cae en el área de rechazo de la hipótesis nula al ser mayor que el valor crítico positivo dado por Excel y por tablas (Ver Anexo N°10); por lo que la hipótesis nula se rechaza.

Esta inferencia también puede hacerse al evaluar la probabilidad del estadístico de contraste p , para lo cual se tiene un valor calculado por Excel, para un contraste bilateral (dos colas) de 0.002810, éste cálculo se realizó también manualmente buscando el valor aproximado del estadístico t obtenido en tabla, para verificar el valor de la probabilidad asignada para este dato para pruebas de dos colas, con un valor de 0.001 que multiplicado por 2 (por ser un contraste bilateral) da como resultado un valor de 0.002, por lo que comparándolo con $\alpha/2=0.05/2=0.025$, teniéndose entonces que $0.002810 < 0.025$, por lo que se rechaza la H_0 .



Figura N°5. Curva normal, zona de aceptación y zona de rechazo de hipótesis nula. Proteína.

Se puede decir entonces, que la diferencia entre las medias es distinta de cero, y por tanto se rechaza la hipótesis nula planteada, y por ende se puede afirmar que ésta diferencia es estadísticamente significativa.

**b. Resultados de prueba T de student para muestras pareadas:
Contenido de triptófano en semilla y grano.**

Como se indica anteriormente, la prueba se realizó haciendo uso de una hoja de cálculo de Microsoft Excel; los cálculos se detallan a continuación y los resultados obtenidos se muestran más adelante en la Tabla N°7.

Tabla N°7. Cálculos aplicando la prueba T de student para muestras pareadas.
Tryptófano.

| Semilla de CENTA (μ_1) | Grano cosechado de Ahuachapán (μ_2) | $d_i (\mu_1 - \mu_2)$ | $(d_i - d)^2$ |
|------------------------------|---|-----------------------|---------------|
| 0.037 | 0.061 | -0.0246 | 0.001241579 |
| 0.058 | 0.047 | 0.0118 | 0.000001279 |
| 0.057 | 0.057 | 0.0004 | 0.000106290 |
| 0.070 | 0.078 | -0.0083 | 0.000358536 |
| 0.098 | 0.069 | 0.0290 | 0.000335827 |
| 0.091 | 0.073 | 0.0176 | 0.000047455 |
| 0.103 | 0.070 | 0.0334 | 0.000517311 |
| 0.068 | 0.071 | -0.0038 | 0.000208395 |
| 0.099 | 0.058 | 0.0405 | 0.000889636 |
| | $\Sigma =$ | 0.0962 | 0.0037 |

$$Df = \frac{\Sigma(\mu_1 - \mu_2)}{n} = \frac{0.0962}{9}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\Sigma(d_i - d)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.0037}{8}}$$

Donde:

| n | Diferencia de las medias (di) | Media de las Diferencias (Df) | Desviación Estándar de las muestras (Sd) | Error Típico Diferencial |
|---|-------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|
| 9 | 0.0962 | 0.0107 | 0.0215 | 0.0072 |

Aplicando la prueba t para muestras pareadas y tomando en cuenta los siguientes parámetros se tiene:

Distribución: normal o aproximadamente normal

Nivel de confianza: 95%; **Nivel de Significancia (α):** 0.05

Varianza de la diferencia de medias: desconocida

Hipótesis Nula (Hipótesis a prueba) (H_0): Establece que no hay diferencias significativas entre las medias del contenido de triptófano para la semilla

proveniente de CENTA (μ_1) y el grano cosechado proveniente de Ahuachapán (μ_2); es decir:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad \circ \quad \mu_d: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

-Hipótesis alternativa (H_1): Establece que si hay diferencias significativas entre las medias de contenido de triptófano para la semilla proveniente de CENTA (μ_1) y el grano cosechado proveniente de Ahuachapán (μ_2); es decir:

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad \circ \quad \mu_d: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Donde: (μ_d : Diferencia de las medias)

Calculando el estadístico t:

$$t = \frac{(d-d_0)}{Sd/\sqrt{n-1}} = \frac{(0.0107-0)}{0.0072} = 1.4892$$

Donde:

d= Media de las diferencias

d_0 = Diferencia hipotética de las medias

Sd= Desviación estándar

Tabla N°8. Resultados de prueba T para dos muestras pareadas: contenido de triptófano en semilla y grano cosechado.

| | Semilla de CENTA | Grano cosechado de Ahuachapán |
|--|----------------------|-------------------------------|
| Media | 0.075543 (μ_1) | 0.064858 (μ_2) |
| Varianza | 0.000532 | 0.000096 |
| Observaciones | 9 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 8 | |
| Estadístico t | 1.489229 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.174754 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.306004 | |

Interpretación de la prueba T student para dos muestras pareadas

En el estudio se asumió que la hipótesis nula establece que las medias de las dos muestras son iguales, es decir, su diferencia será cero. Para comprobar si esto es así, que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias del contenido de triptófano entre la semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59, la prueba T permitió evaluar la región de aceptación de la hipótesis para un contraste bilateral, que en este caso está comprendida entre los valores críticos de t (dos colas) mayores de -2.306004 y menores de 2.306004, (los valores provenientes de tablas son aproximados por ello se prefiere el uso de paquetes de software estadístico, ya que éstos proporcionan valores más precisos) por tanto dado que el valor del estadístico t calculado es igual a 1.489229 que es menor que el valor crítico positivo dado por Excel y por tabla (Ver Anexo N°10), apreciación que puede hacerse de manera gráfica en la Figura N°6 dado que éste valor de t cae en el área de aceptación de la hipótesis nula por lo que se puede decir entonces que la diferencia entre las medias no es distinta de cero, y por tanto se acepta la hipótesis nula planteada.



Figura N°6. Curva normal, zona de aceptación y zona de rechazo de hipótesis nula. Triptófano.

Esta inferencia puede hacerse al evaluar la probabilidad del estadístico de contraste p, para lo cual se tiene un valor para un contraste bilateral (dos colas) de 0.174754, éste cálculo se realizó también manualmente buscando el valor aproximado del estadístico t obtenido en tabla, para verificar el valor de la

probabilidad asignada para este dato para pruebas de dos colas, con un valor de 0.1 que multiplicado por 2 (por ser un contraste bilateral) da como resultado un valor de 0.2 que es aproximado al real, por lo que comparándolo con $\alpha/2 = 0.05/2 = 0.025$, entonces se tiene que $0.174754 > 0.025$, lo que permite aceptar la H_0 y por ende se puede afirmar que no existe diferencia estadísticamente significativa en el contenido de triptófano para la semilla y grano cosechado en estudio.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

6.0 CONCLUSIONES

1. Los valores de proteína obtenidos de la semilla y el grano cosechado de maíz híbrido H-59 son más altos que los valores de referencia bibliográficos de estudios recientes y de la guía técnica del cultivo de maíz del CENTA.
2. El triptófano presente en la semilla y el grano en estudio es más alto con respecto a los controles utilizados y al valor de referencia conocido, sin embargo no se tiene una variación significativa entre ellos, por lo cual no aporta un cambio sustancial en el valor nutricional reflejado en el índice de calidad de los mismos.
3. Se encontró diferencia estadísticamente significativa entre el contenido de proteína de la semilla y el grano cosechado de maíz híbrido H-59.
4. El contenido de triptófano tanto para semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59, no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre ambos.
5. El índice de calidad tanto de la semilla como del grano cosechado de maíz híbrido H-59, no refleja diferencia entre ambos, sin embargo, el valor es mayor que el usado de referencia bibliográfica para este híbrido de maíz, manteniéndose el índice de calidad de la semilla y grano dentro del rango considerado para maíz normal.
6. Con respecto al contenido de lisina en la semilla y en el grano, que el contenido de la semilla es ligeramente superior al del grano, pero no implica mayor diferencia en la calidad del valor nutricional subyacente en ambos.

7. De acuerdo a los resultados obtenidos en el porcentaje de proteína y triptófano presentes en la semilla y el grano de maíz híbrido H-59, con respecto a las diferencias estadísticamente significativas entre éstas variables, no se encontró una variación relevante en la calidad del valor nutricional de las mismas, siendo éstos valores aceptables para ese tipo de maíz.
8. Los factores de calidad genética y las practicas agrícolas con que se maneja el cultivo de maíz híbrido H-59 tienen una alta incidencia en el valor nutricional que al final está disponible para ser aprovechado por la población.

CAPITULO VII
RECOMENDACIONES

7.0 RECOMENDACIONES

1. Que las instituciones del Estado competentes realicen un monitoreo constante de la calidad del maíz , del que se debe, junto con otros granos de la canasta básica, tenerse un control estricto tanto de la semilla que se provee para cultivar como del grano que se utilizará para consumo.
2. Que se realicen nuevos estudios para determinar que variedades de maíz existentes en el país; poseen mayor calidad en el contenido de proteína, para incluirlos en programas dirigidos a la alimentación de sectores priorizados que necesitan aumentar el consumo de éste nutriente.
3. Ampliar en futuras investigaciones, otros sitios de muestreo para conocer si existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de triptófano entre semilla y grano cosechado y además si éstas diferencias afectan la calidad del valor nutricional de este híbrido de maíz.
4. Que se realicen nuevos estudios para determinar el valor de la correlación existente entre el contenido de proteína y triptófano presentes en la semilla y grano cosechado del híbrido maíz en estudio.
5. Que se determine el contenido de lisina en el maíz híbrido H-59 usando un método directo en futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, P.O. Box 540, Benjamin Franklin Station. 15° Edition. Washington D.C. 1990.
2. CENTA, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova. Memorias de protocolos de investigación y validación 1996. La Libertad. El Salvador. 1997.
3. FAO, Food and Agriculture Organization. El maíz en la nutrición humana. [Base de datos en internet]. Roma. [Fecha de acceso: 24 de marzo de 2013]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S00.htm#Contents>
4. Galicia, L., Miranda, A., Gutiérrez, M.G.; Custodio, O., Rosales, A.; Ruiz, N. et al. Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: Protocolos de laboratorio 2012. México, D.F.: CIMMYT. 2012.
5. Gisper, C. Enciclopedia practica de la agricultura y la ganadería. Barcelona: Editorial Océano. 2003.
6. MAG. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección General de Economía Agropecuaria. División de Estadísticas Agropecuarias. Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2011-2012. [Internet]. San Salvador [Fecha de acceso: 20 de marzo de 2013]. Disponible en: http://www.mag.gob.sv/index.php?option=com_phcdownload&view=category&id=14Item=224
7. MAG, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Guía técnica: El cultivo del maíz. La Libertad. El Salvador. 2012.

8. Martínez, M., Palacios, N. y Ortiz, R. Caracterización nutricional del grano de 50 accesiones de maíz cubano. [Base de datos de internet] México D.F. 2009. [Fecha de acceso: 21 de junio de 2013]. Disponible en:<http://agris.fao.org/agrissearch/search/display.do?f=2010/CU/CU1011.xml;CU2010401656>
9. Morales, P. El contraste de medias. [Internet]. Madrid. 2007.[Fecha de acceso: 25 de junio de 2013]. Disponible en: <http://www.upcomillas.es/personal/peter/estadisticabasica/Contrastedemedias.pdf>
10. Parson, D. B. Manual para la educación agropecuaria: Maíz. 2ª Edición. México D.F.: Editorial Trillas. 2001.
11. P. Font Q. Diccionario de Botánica: Tomo I y II Barcelona: Editorial Labor S.A; 1993.
12. Quintanilla, L. El Salvador es el mayor importador de maíz blanco. La Prensa Gráfica. Lunes 1 de Abril de 2013. Sección Economía.
13. Seguridad Alimentaria / IICA. [Internet]. [Fecha de acceso: [20 de marzo de 2013]. Disponible en: <http://www.iica.int/Esp/regiones/central/salvador/areas/Paginas/seguridadalimentaria.aspx>
14. Steel, R., Torrie, Bioestadística Principios y Procedimientos, México DF: Editorial Mc Graw Hill. 1988
15. Umaña R. Formación de híbridos de maíz (***Zea mays***) de alta calidad proteínica. [Tesis]. San Salvador: Universidad de El Salvador. Facultad de Química y Farmacia; 1988.

16. Valor nutricional de las proteínas. [Internet]. Chile. [Fecha de acceso: [20 de marzo de 2013]. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/penacchiottii01/capitulo07/01.html
17. Villegas, E., Ortega, E. y Bauer, R. Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinación de calidad de proteína de los cereales. Mexico D.F.: CIMMYT. 1985
18. Vivek, B.S., Krivanek, A.F., Palacios-Rojas N., Twumasi-Afryie, S. y Diallo, A.O. Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.: CIMMYT. 2008.

GLOSARIO

Acame: Doblez o inclinación que sufre el tallo de las plantas, como el trigo, la cebada, etc. debido a la acción del viento o a que ha alcanzado su madurez y no se le corta. ⁽¹¹⁾

Bráctea: Cualquier órgano foliáceo situado en la proximidad de las flores y distinto por su forma, tamaño, consistencia, color, etc. ⁽¹¹⁾

Carozo: Corazón de la mazorca de maíz; pieza que queda tras desgranarla. ⁽¹¹⁾

Gluma: Cada uno de los hipsofilos estériles que suelen hallarse enfrentados en la base de las espículas de las gramíneas. ⁽¹¹⁾

Grano: Semilla y fruto de los cereales, de las leguminosas y otras plantas. ⁽¹¹⁾

Macollo: Cada uno de los brotes de un pie vegetal. ⁽¹¹⁾

Maíz común o maíz normal: Los términos “maíz común” o “maíz normal” se utilizan para referirse al maíz común que no es ACP, es decir, que no tiene niveles mejorados de lisina y triptófano. ⁽¹⁸⁾

Piensos: Porción de alimento seco que se da al ganado. ⁽¹¹⁾

Pilorriza: Tejido inerte en que se unen el grano y el carozo. ⁽¹¹⁾

Semilla: Parte del fruto de los vegetales que contiene el germen de una nueva planta ⁽¹¹⁾

Vaina: Base de la hoja más o menos ensanchada, que abraza parcial o totalmente la ramita en que se inserta. ⁽¹¹⁾

Anexos

Anexo N°1

Ingesta proteínica diaria recomendada por FAO/OMS/ONU

Cuadro N°14: Ingesta proteínica diaria recomendada por FAO/OMS/ONU
(1985)⁽¹⁶⁾

| Edad (años) | Nivel de seguridad (g prot /kg por día) |
|------------------------|---|
| Lactantes y niños | |
| 0.25 - 0.5 | 1.86 |
| 0.75 - 1.0 | 1.48 |
| 2-3 | 1.13 |
| 9 -10 | 0.99 |
| Adolescentes (Varones) | |
| 10 -11 | 0.99 |
| 14 -15 | 0.96 |
| 17 -18 | 0.86 |
| Adultos | 0.75 |

Durante la lactancia se recomienda una ingesta proteica diaria adicional de 16g. Sin embargo, las necesidades reales son de alfa aminoácidos y por tanto la composición en aminoácidos de las proteínas de la dieta es extremadamente importante.

Anexo N°2

Necesidades de aminoácidos sugeridas por la FAO/OMS/ONU

Cuadro N°15: Necesidades de aminoácidos sugeridas por la FAO/OMS/ONU⁽¹⁶⁾

| Aminoácidos (mg/g de proteína bruta) | Necesidades requeridas | | | |
|---|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------|
| | Lactantes Media (rango)++ | Preescolares (2-5 años) | Edad escolar (10-12) | Adultos |
| Histidina | 26 (18-36) | 19 | 19 | 16 |
| Isoleucina | 46 (41-53) | 28 | 28 | 13 |
| Leucina | 93 (83-107) | 66 | 44 | 19 |
| Lisina | 66 (53-76) | 58 | 44 | 16 |
| Atetionina + cistina | 42 (29-60) | 25 | 22 | 17 |
| Fenilalanina + tirosina | 72 (68-118) | 63 | 22 | 19 |
| Treonina | 43 (40-5) | 34 | 28 | 9 |
| Triptófano | 17 (16-17) | 11 | 9 | 5 |
| Valina | 55 (44-77) | 35 | 25 | 13 |
| Total: | | | | |
| Incluyendo la histidina | 460 (408-588) | 339 | 241 | 127 |
| Sin incluir la histidina | 434 (390-552) | 32 | 222 | 111 |

(+FAO/WHO/ONU, 1985).

++Composición de aminoácidos de la leche de mujer.

Para los adultos, los niveles seguros van de 0.75 g/kg; niños (10-12 años) 0.99 g/kg; niños (2-5 años) 1.10 g/kg (Se ha elegido este rango de edades porque coincide con el rango de edades de las personas a partir de las cuales se han obtenido los datos).

El consumo de proteínas presenta ventajas y algunas desventajas. Entre las primeras se mencionan que son esenciales para la mayoría de las funciones vitales del organismo, incluyendo el desarrollo y el mantenimiento de las células.

Entre las desventajas se puede señalar que ingerir demasiadas proteínas puede sobrecargar el hígado y los riñones ocasionando la producción de orina ácida, que puede provocar una pérdida de calcio de los huesos, aumentando el riesgo de osteoporosis.

Los nutricionistas recomiendan que se obtenga entre el 10 y el 15% de la energía a partir de las proteínas, un 20 a un 25% de las grasas y un 55 a 60% de los hidratos de carbono. Si el consumo de grasas o de hidratos de carbono es insuficiente para satisfacer sus necesidades de energía, las proteínas del organismo serán descompuestas para ser utilizadas como fuente de energía.

El hombre común o un adolescente de sexo masculino necesita más o menos 55 g de proteínas al día, que pueden obtenerse de una ración por ejemplo de 220 g de pollo magro o de 250 g de trucha cocida al vapor. La mujer o joven adolescente requiere alrededor de 45 g de proteína al día, en tanto que un niño entre 7 y 10 años unos 28 g al día.

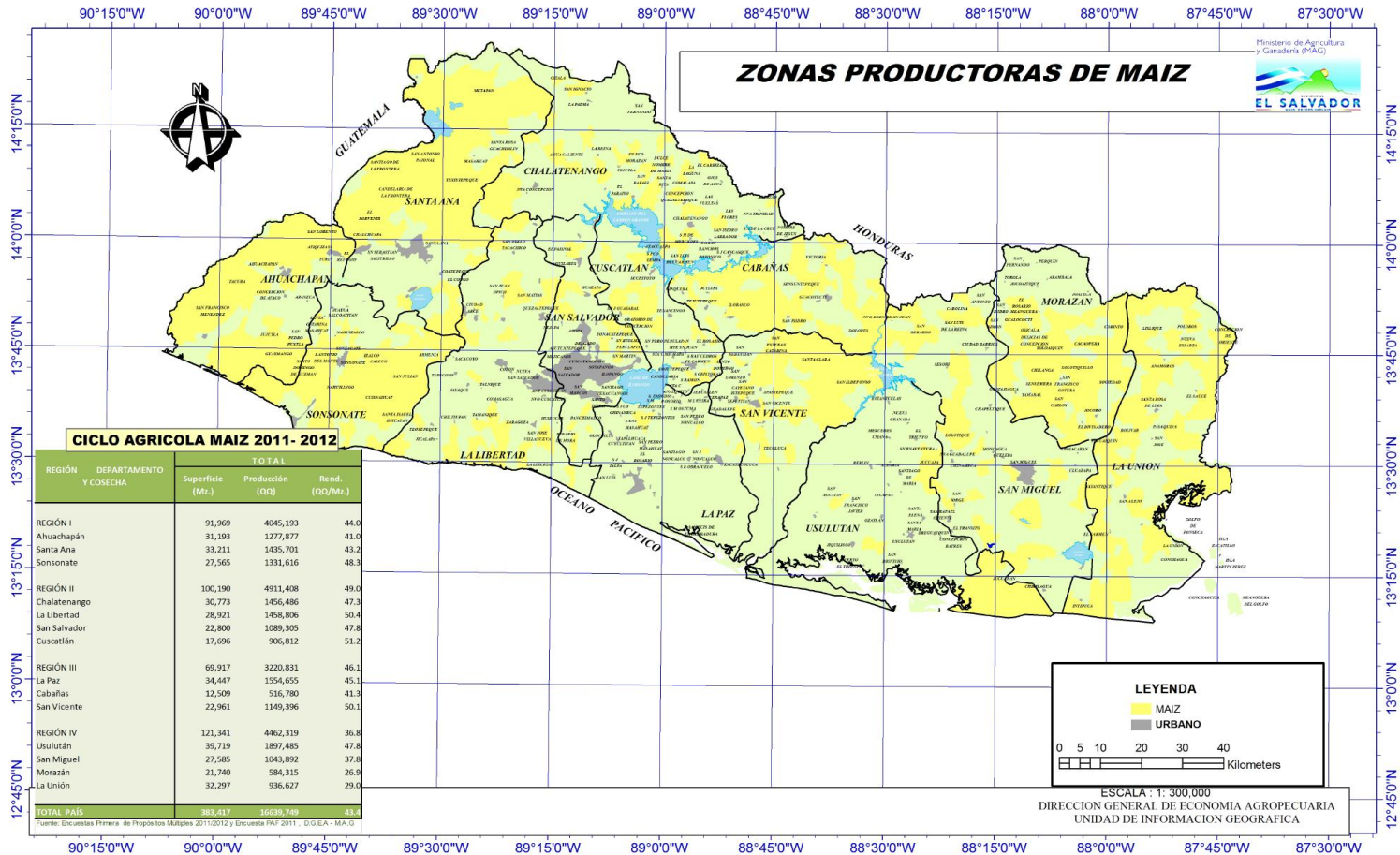
EL SALVADOR
MAÍZ
 SUPERFICIE, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO POR VARIEDAD SEMBRADA, SEGÚN
 REGIÓN, DEPARTAMENTO Y COSECHA
 2011 - 2012

| REGIÓN Y DEPARTAMENTO | TOTAL | | | VARIEDAD SEMBRADA | | | | | |
|-----------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|
| | Superficie (Mz.) | Producción (QQ) | Rend. (QQ/Mz.) | Maíz Híbrido | | | Maíz Nacional | | |
| | | | | Superficie (Mz.) | Producción (QQ) | Rend. (QQ/Mz.) | Superficie (Mz.) | Producción (QQ) | Rend. (QQ/Mz.) |
| REGIÓN I | 91,969 | 4,045,193 | 44.0 | 88,314 | 3,937,328 | 44.6 | 3,656 | 107,865 | 29.5 |
| Ahuachapán | 31,193 | 1,277,877 | 41.0 | 30,056 | 1,243,147 | 41.4 | 1,137 | 34,730 | 30.5 |
| Santa Ana | 33,211 | 1,435,701 | 43.2 | 30,909 | 1,369,389 | 44.3 | 2,302 | 66,312 | 28.8 |
| Sonsonate | 27,565 | 1,331,616 | 48.3 | 27,348 | 1,324,792 | 48.4 | 217 | 6,824 | 31.4 |
| REGIÓN II | 100,190 | 4,911,408 | 49.0 | 97,280 | 4,822,630 | 49.6 | 2,909 | 88,778 | 30.5 |
| Chalatenango | 30,773 | 1,456,486 | 47.3 | 28,917 | 1,401,918 | 48.5 | 1,856 | 54,568 | 29.4 |
| La Libertad | 28,921 | 1,458,806 | 50.4 | 27,976 | 1,426,633 | 51.0 | 944 | 32,173 | 34.1 |
| San Salvador | 22,800 | 1,089,305 | 47.8 | 22,773 | 1,088,749 | 47.8 | 27 | 556 | 20.6 |
| Cuscatlán | 17,696 | 906,812 | 51.2 | 17,613 | 905,330 | 51.4 | 82 | 1,482 | 18.1 |
| REGIÓN III | 69,917 | 3,220,831 | 46.1 | 67,218 | 3,149,134 | 46.8 | 2,700 | 71,697 | 26.6 |
| La Paz | 34,447 | 1,554,655 | 45.1 | 32,425 | 1,503,457 | 46.4 | 2,021 | 51,198 | 25.3 |
| Cabañas | 12,509 | 516,780 | 41.3 | 12,040 | 503,838 | 41.8 | 470 | 12,942 | 27.5 |
| San Vicente | 22,961 | 1,149,396 | 50.1 | 22,753 | 1,141,839 | 50.2 | 209 | 7,557 | 36.2 |
| REGIÓN IV | 121,341 | 4,462,319 | 36.8 | 90,109 | 3,626,804 | 40.2 | 31,231 | 835,514 | 26.8 |
| Usulután | 39,719 | 1,897,485 | 47.8 | 36,017 | 1,768,245 | 49.1 | 3,701 | 129,240 | 34.9 |
| San Miguel | 27,585 | 1,043,892 | 37.8 | 23,146 | 939,107 | 40.6 | 4,440 | 104,785 | 23.6 |
| Morazán | 21,740 | 584,315 | 26.9 | 15,633 | 421,303 | 26.9 | 6,106 | 163,012 | 26.7 |
| La Unión | 32,297 | 936,627 | 29.0 | 15,313 | 498,149 | 32.5 | 16,984 | 438,477 | 25.8 |

Anexo N°3

Figura N°7: Representación de la superficie cultivada de maíz en El Salvador, anual 2012 MAG ⁽⁶⁾

Zonas productoras de maíz, El Salvador 2011-2012



Anexo N°4

Figura N°8: Zonas Productoras de Maíz. El Salvador. 2011-2012. MAG (6)

Anexo N°5

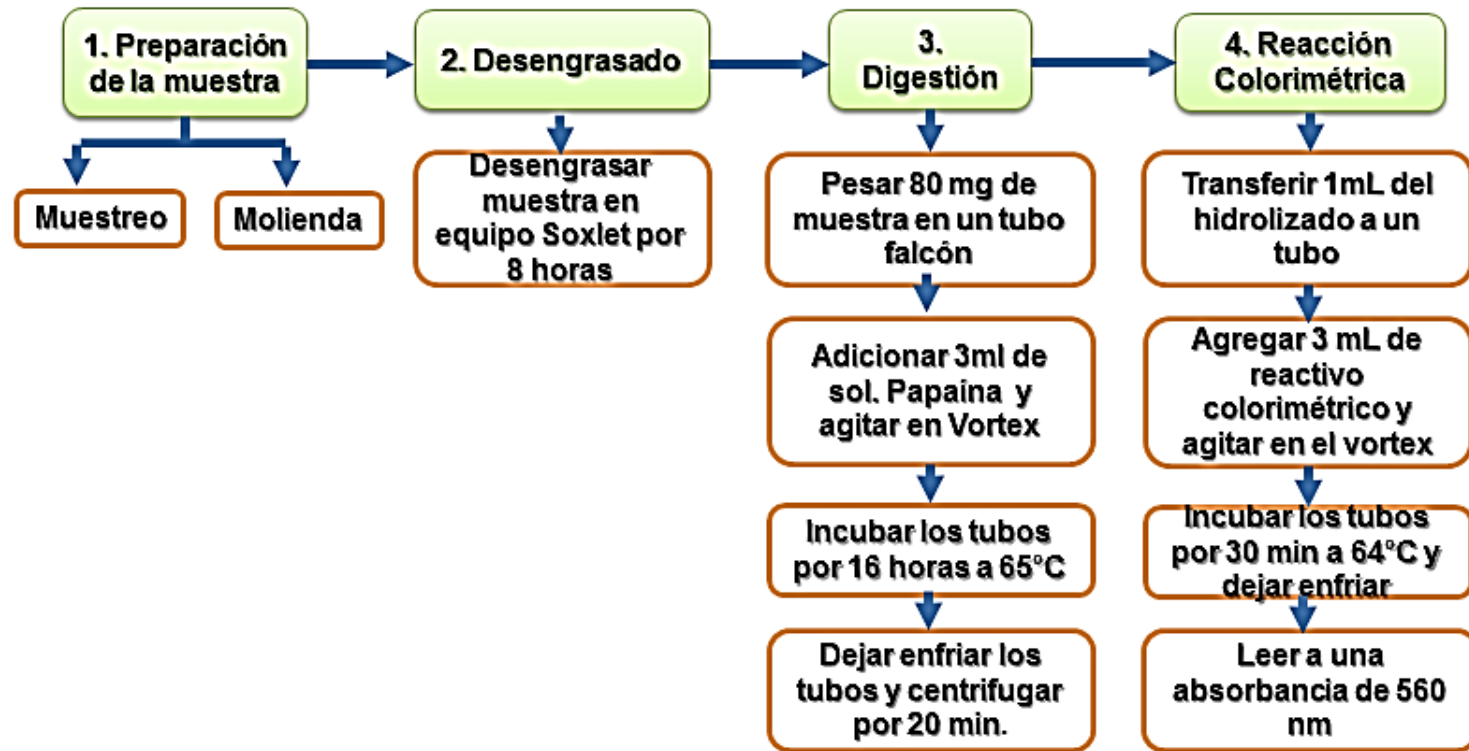
Seguridad alimentaria // IICA ⁽¹³⁾

Dentro del Programa de Abastecimiento Nacional para la Seguridad Alimentaria y Nutricional del Plan de Agricultura Familiar (PAF), la Oficina del IICA en El Salvador ha contribuido en la adquisición de insumos para los paquetes agrícolas para cultivo de semilla, que son distribuidos a más de 2,500 agricultores, implementando una modalidad que garantiza la transparencia del proceso de inscripción, adquisición y distribución de los paquetes.

En este contexto, las políticas de desarrollo de la actual administración en el rubro agrícola han resultado beneficiosas para dichas cooperativas, pues a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería han obtenido la certificación que les acredita como productoras de semilla de maíz certificada, variedad H-59. Por primera vez en la historia, estos productores han sido sujetos de apoyo por parte del Gobierno, a través del Plan de Agricultura Familiar (PAF), que es ejecutado por el MAG; cuentan con la asesoría del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) y el financiamiento del Banco de Fomento Agropecuario (BFA).

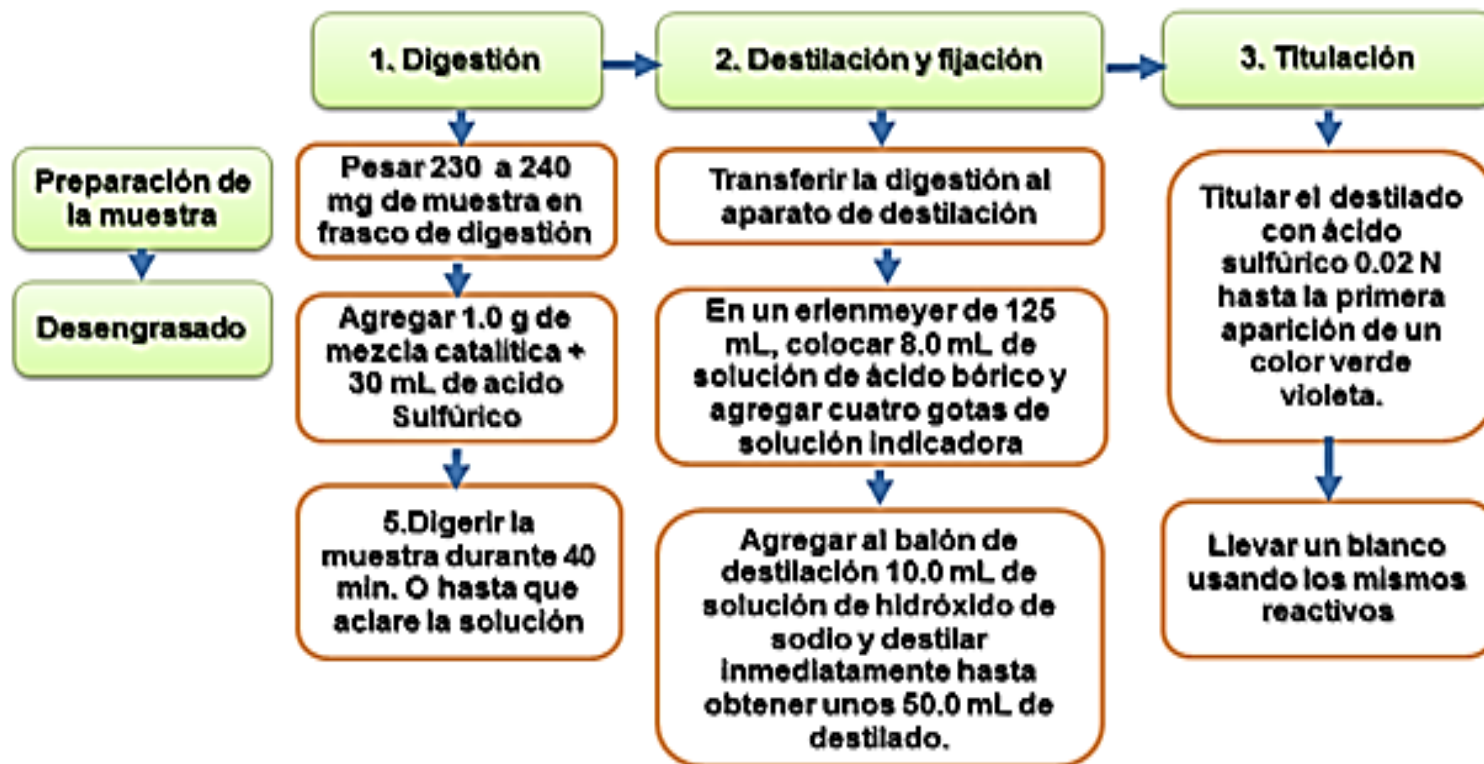
El establecimiento de un mercado seguro para su producción de semilla certificada, que les ha permitido pagar a tiempo sus créditos para siembra, reinvertir para mejorar la producción y obtener beneficios económicos y sociales para todos los asociados, sus familias y comunidad, es el beneficio más importante que las cooperativas han recibido gracias a las políticas agrícolas del Gobierno, según sus representantes.

Esquema de procedimiento de determinación de triptófano con ácido glioxílico en semilla y grano entero de maíz híbrido H-59



Anexo N°6

Figura N°9. Esquema de la determinación de triptófano con ácido glioxílico.



Anexo N°7

Figura N°10. Esquema de la determinación de proteína cruda por Micro-Kjeldahl

Anexo N°8

**Listado de materiales y preparación de reactivos de la determinación
de triptófano y de proteína en grano entero de maíz**

Parte A: Determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico⁽⁴⁾

Listado de material y equipo a utilizar:

- Pipetas volumétricas de 1.0 y 3.0 mL
- Tubos de vidrio de tapón con rosca (tubos falcon)
- Tubos colorimétricos calibrados
- Probeta graduada de 5 mL
- Balanza analítica.
- Estufa incubadora.
- Gradillas con capacidad para 40 tubos
- Espectrofotómetro
- Centrifuga

Listado de reactivos a utilizar en la determinación por el método de ácido glioxílico:

- Solución de acetato de sodio 0.1 M
- Solución de papaína (1mg/mL)
- Acido Glioxilico 0.1 M.
- Ácido sulfúrico al 30 N.
- Ácido sulfúrico 7N
- Cloruro Férrico 1.8 mM

Procedimiento de preparación de reactivos en la determinación de triptófano en grano entero de maíz.

a. Solución de acetato de sodio 0.1 M

- En balanza analítica pesar 8.203 g de acetato de sodio anhidro calidad reactivo
- Colocar en un balón volumétrico de 1.0 L
- Aforar con agua destilada
- Ajustar el pH a 7.0 con HCl 0.5N.

b. Solución de Papaína (1mg/mL)

- En balanza analítica pesar 40 mg de papaína para preparar 40 mL de reactivo (Preparar siempre fresca y en exceso, se necesitan 3 mL por muestra)
- Disolver la papaína en solución de acetato de sodio 0.1 M. Para mejor solubilidad el acetato de sodio debe estar a temperatura ambiente.

Reactivo A: Acido Glioxilico 0.1 M (Preparar diariamente)

- Pesar en balanza analítica 0,9205 g de ácido glioxilico y colocarlo en un balón volumétrico de 100.0 mL.
- Medir con una probeta 50 mL de H₂SO₄ 7 N y añadir al balón volumétrico
- Agitar el balón muy lentamente hasta que el ácido Glioxilico se disuelva completamente.
- Aforar a 100.0 mL el balón con H₂SO₄ 7 N.

Reactivo B: 1.8 mM Cloruro férrico (Preparar diariamente)

- En balanza analítica pesar 0.050g de FeCl₃ calidad reactivo

-Disolver completamente en un beaker con 100 mL de reactivo A. (Ácido glioxílico al 0.1M)

Reactivo C: Ácido Sulfúrico 30 N (Guardar a temperatura ambiente)

-Colocar en un balón volumétrico de 1000.0 mL, 833.30 mL de ácido sulfúrico (98%) y 166.70 mL de agua destilada para preparar una solución de H₂SO₄ 30 N.

-Completar aforando al volumen final.

Reactivo D: Reactivo colorimétrico (preparar diariamente)

-Mezclar los reactivos B y C en proporciones iguales (1:1 v/v). Para cada muestra se necesitan 3.0 mL del reactivo D. Prepare suficiente reactivo una hora antes de usarlo.

-Usar un balón oscuro o envuelva el balón en papel aluminio. Es necesario proteger el reactivo colorimétrico, de la luz y el oxígeno.

Ácido Sulfúrico 7 N:

-Medir 35 mL de ácido sulfúrico 30 N y colocar en un balón volumétrico de 150.0 mL y aforar hasta la marca.

Solución concentrada de Triptófano (100 µg/ mL)

-Pesar 10 mg de DL-Triptófano calidad reactivo, agregar a un balón volumétrico de 100.0 mL

- Adicionar agua destilada poco a poco y disolver agitando constantemente hasta aforar a la marca.

Parte B: Determinación de proteína cruda por el método Micro-Kjeldahl₍₁₎

Material y equipo

- Matraces de digestión para micro-Kjeldahl
- Pipeta Volumétrica de 3.0 mL
- Erlenmeyer de 125 mL
- Probeta de 10 mL
- Beaker de 100 mL
- Bureta de 50.0 mL
- Goteros
- Pizeta
- Balanza analítica
- Aparato digestor para micro-Kjeldahl
- Aparatos de destilación para micro-Kjeldahl

Listado de Reactivos para determinar proteína

- Ácido sulfúrico libre de nitrógeno (98% de pureza y gravedad específica 1.84)
- Mezcla catalítica ($K_2SO_4 + H_2O + CuSO_4$ ó Na_2SO_4)
- Solución de hidróxido de sodio al 50%
- Solución de ácido bórico al 4%
- Solución indicadora (Rojo de metilo en verde bromocresol)
- Solución de ácido sulfúrico 0.02 N.

Procedimiento de preparación de reactivos

Mezcla catalítica

- Pesar en balanza semianalítica o granataria 15.6 g de K_2SO_4 calidad reactivo.
- Pesar en balanza analítica 0.06 g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ calidad reactivo.
- Mezclar ambos reactivos y almacenar en contenedor cerrado.

Solución de ácido Bórico al 4%

- Pesar 4.0 g de ácido bórico en balanza analítica
- Colocar en balón volumétrico de 100.0 mL y aforar con agua destilada a la marca

Solución de Hidróxido de sodio al 50%

- Pesar 50 g de hidróxido de sodio calidad reactivo en un beaker en balanza granataria.
- Colocar en balón volumétrico de 100.0 mL y aforar con agua destilada a la marca-

Solución de ácido sulfúrico al 0.02 N

- Medir con una probeta 55.5 mL del ácido sulfúrico concentrado (98%)
- Colocar en un balón de 500.0 mL
- Aforar con agua destilada hasta la marca.

Anexo N°9

Recomendaciones especiales en la determinación de triptófano en grano entero de maíz utilizando ácido glioxílico.⁽⁴⁾

1. Es importante desengrasar los granos de maíz, para mejorar la precisión y la reproducibilidad de los resultados. Cuando no se desengrasan las muestras, se detecta, en promedio, un 0.8% menos de triptófano con este protocolo.
2. Después de centrifugar las muestras, asegurarse de que no haya partículas adheridas a la pared del tubo o flotando en el sobrenadante. Si hay partículas adheridas, agitar la muestra una vez más en la centrifugadora y centrifugar por 15 minutos.
3. Como en todos los métodos analíticos, esta reacción es muy sensible a la precisión del pipeteo.
4. Asegúrese de que las pipetas o los dispensadores estén calibrados correctamente.

Anexo N°10

Cuadro N°16: Valores de t Student para pruebas de una y dos colas ⁽⁹⁾

| Pruebas de una cola (<i>unilaterales</i>) Pruebas de dos colas (<i>bilaterales</i>) <i>(habitualmente utilizamos pruebas bilaterales, o bidireccionales o de dos colas)</i> | Grados de libertad | 0.05 | 0.025 | 0.005 | 0.0005 |
|---|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | .10 | .05 | .01 | .001 |
| | 1 | 6.313752 | 12.70620 | 63.65674 | 636.6192 |
| | 2 | 2.919986 | 4.30265 | 9.92484 | 31.5991 |
| | 3 | 2.353363 | 3.18245 | 5.84091 | 12.9240 |
| | 4 | 2.131847 | 2.77645 | 4.60409 | 8.6103 |
| | 5 | 2.015048 | 2.57058 | 4.03214 | 6.8688 |
| | 6 | 1.943180 | 2.44691 | 3.70743 | 5.9588 |
| | 7 | 1.894579 | 2.36462 | 3.49948 | 5.4079 |
| | 8 | 1.859548 | 2.30600 | 3.35539 | 5.0413 |
| | 9 | 1.833113 | 2.26216 | 3.24984 | 4.7809 |
| | 10 | 1.812461 | 2.22814 | 3.16927 | 4.5869 |
| | 11 | 1.795885 | 2.20099 | 3.10581 | 4.4370 |
| | 12 | 1.782288 | 2.17881 | 3.05454 | 4.3178 |
| | 13 | 1.770933 | 2.16037 | 3.01228 | 4.2208 |
| | 14 | 1.761310 | 2.14479 | 2.97684 | 4.1405 |
| | 15 | 1.753050 | 2.13145 | 2.94671 | 4.0728 |
| | 16 | 1.745884 | 2.11991 | 2.92078 | 4.0150 |
| | 17 | 1.739607 | 2.10982 | 2.89823 | 3.9651 |
| | 18 | 1.734064 | 2.10092 | 2.87844 | 3.9216 |
| | 19 | 1.729133 | 2.09302 | 2.86093 | 3.8834 |
| | 20 | 1.724718 | 2.08596 | 2.84534 | 3.8495 |
| | 21 | 1.720743 | 2.07961 | 2.83136 | 3.8193 |
| | 22 | 1.717144 | 2.07387 | 2.81876 | 3.7921 |
| | 23 | 1.713872 | 2.06866 | 2.80734 | 3.7676 |
| | 24 | 1.710882 | 2.06390 | 2.79694 | 3.7454 |
| | 25 | 1.708141 | 2.05954 | 2.78744 | 3.7251 |
| | 26 | 1.705618 | 2.05553 | 2.77871 | 3.7066 |
| | 27 | 1.703288 | 2.05183 | 2.77068 | 3.6896 |
| | 28 | 1.701131 | 2.04841 | 2.76326 | 3.6739 |
| | 29 | 1.699127 | 2.04523 | 2.75639 | 3.6594 |
| | 30 | 1.697261 | 2.04227 | 2.75000 | 3.6460 |
| | ∞ | 1.644854 | 1.95996 | 2.57583 | 3.2905 |

Grados de libertad:

Muestras independientes: $N_1 + N_2 - 2$

Muestras relacionadas: $N - 1$

Anexo N°11

**Codificación de las muestra de semilla y grano cosechado de maíz
hibrido H-59**

**Codificación de las muestras de semilla y grano cosechado de maíz
híbrido H-59**

Cuadro N°17: Procedencia e identificación de muestras de maíz híbrido H-59

| Procedencia / Identificación de Muestra | |
|--|-------|
| Semilla de CENTA | SC-01 |
| | SC-02 |
| | SC-03 |
| | SC-04 |
| | SC-05 |
| | SC-06 |
| | SC-07 |
| | SC-08 |
| | SC-09 |
| Grano cosechado de Ahuachapán | GA-01 |
| | GA-02 |
| | GA-03 |
| | GA-04 |
| | GA-05 |
| | GA-06 |
| | GA-07 |
| | GA-08 |
| | GA-09 |



a) Muestreo en sacos de semilla



b) Toma de muestra de semilla



c) Recolección de las muestras en bolsas de papel kraft

Figura N°11. Fotografías de las condiciones de la toma de muestra en Bodega de semillas del CENTA.



a) Silo de almacenaje



b) Toma de muestra en silo



c) Almacenamiento de las muestras en bolsas de papel kraft

Figura N°12: Fotografías de la toma de muestras de granos cosechados de maíz híbrido H-59, en el Caserío la Ceiba, Cantón La Ceiba, municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán.

Anexo N° 12

**Fotografías de la preparación de las muestras de semilla y grano de
maíz híbrido H-59 y de la parte experimental**



a) Selección de la muestra



b) Molienda de la muestra



c) Tamizado



d) Desengrasado

Figura N°13. Fotografías de la preparación de la muestra de semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59



a) Tubos con solución de papaína



b) Incubación de las muestras



c) Desarrollo de coloración



d) Lectura de las muestras

Figura N°14. Fotografías de la determinación de triptófano con ácido glioxílico en semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59.



a) Pesada de muestras



b) Digestión de las muestras



c) Proceso de destilación



d) Titulación de las muestras

Figura N°15. Fotografías de la determinación de proteína cruda por el método Micro-Kjeldahl en semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59.

Anexo N°13

Cálculos de la determinación de proteína presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán.

Cálculos de la determinación de proteína presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán.

Se realizó la determinación de proteína en las muestra de semilla y grano cosechado del híbrido de maíz, H-59 por duplicado, obteniéndose los resultados que se detallan en la Tabla N°9.

Tabla N°9. Peso de muestra y volumen de ácido utilizado en titulación de muestras de semilla y grano cosechado respectivamente.

| Muestra | Identificación del duplicado | Peso de muestra (g) | Volumen de ácido 0.2026 N gastado en titulación (mL) |
|----------------|-------------------------------------|----------------------------|---|
| SC-01 | SC-01a | 0.201 | 1.540 |
| | SC-01b | 0.300 | 2.280 |
| SC-02 | SC-02a | 0.206 | 1.410 |
| | SC-02b | 0.207 | 1.440 |
| SC-03 | SC-03a | 0.202 | 1.390 |
| | SC-03b | 0.204 | 1.360 |
| SC-04 | SC-04a | 0.204 | 1.470 |
| | SC-04b | 0.208 | 1.430 |
| SC-05 | SC-05a | 0.200 | 1.580 |
| | SC-05b | 0.215 | 1.740 |
| SC-06 | SC-06a | 0.206 | 1.630 |
| | SC-06b | 0.206 | 1.650 |
| SC-07 | SC-07a | 0.209 | 1.570 |
| | SC-07b | 0.303 | 2.300 |
| SC-08 | SC-08a | 0.217 | 1.560 |
| | SC-08b | 0.216 | 1.480 |
| SC-09 | SC-09a | 0.210 | 1.490 |
| | SC-09b | 0.300 | 2.040 |
| GA-01 | GA-01a | 0.206 | 1.280 |
| | GA-01b | 0.203 | 1.200 |
| GA-02 | GA-02a | 0.213 | 1.350 |
| | GA-02b | 0.300 | 1.960 |

Tabla N°9: (Continuación)

| Muestra | Identificación del duplicado | Peso de muestra (g) | Volumen de ácido 0.2026 N gastado en titulación (mL) |
|---------|------------------------------|---------------------|--|
| GA-03 | GA-03a | 0.210 | 1.480 |
| | GA-03b | 0.304 | 2.100 |
| GA-04 | GA-04a | 0.213 | 1.340 |
| | GA-04b | 0.441 | 2.820 |
| GA-05 | GA-05a | 0.207 | 1.400 |
| | GA-05b | 0.215 | 1.410 |
| GA-06 | GA-06a | 0.208 | 1.320 |
| | GA-06b | 0.206 | 1.240 |
| GA-07 | GA-07a | 0.204 | 1.240 |
| | GA-07b | 0.302 | 1.840 |
| GA-08 | GA-08a | 0.213 | 1.430 |
| | GA-08b | 0.290 | 1.970 |
| GA-09 | GA-09a | 0.203 | 1.140 |
| | GA-09b | 0.386 | 2.000 |

A continuación se presenta un ejemplo de los cálculos para determinar el porcentaje de proteína para el caso de las semillas de maíz híbrido H-59 provenientes del CENTA y se enlistan los resultados obtenidos para los granos cosechados provenientes de Ahuachapán respectivamente en la Tabla N°10. Los cálculos fueron realizados utilizando hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Para determinar el porcentaje de nitrógeno y proteína cruda en las muestras se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%N = \frac{\text{mL de ácido titulación muestra} - \text{mL de ácido titulación blanco} \times N \text{ ácido} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra en gramos}}$$

$$\text{Proteína cruda} = \% N \times 6.25$$

Se esquematiza el cálculo del valor de nitrógeno y proteína cruda para la muestra de semilla SC-01

- **Para SC-01a se tiene que:**

$$\%N = \frac{\text{mL de ácido titulación muestra} - \text{mL de ácido titulación blanco} \times N \text{ ácido} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra en gramos}}$$

Sustituyendo los valores correspondientes de mL de ácido gastado, en este caso 1.540 mL, no se gastó ácido en la titulación del blanco por ende este valor es de 0 mL, la concentración del ácido fue de 0.2026 N y el peso de muestra de 0.201 g.

$$\%N = \frac{1.540 \text{ mL} - 0 \text{ mL} \times 0.2026 \text{ N} \times 0.014 \times 100}{0.201 \text{ g}} = 2.173\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

Ahora, multiplicando el porcentaje de nitrógeno recién obtenido por el factor de 6.25 se tiene:

$$\text{Proteína cruda} = \% N \times 6.25$$

$$\text{Proteína cruda} = 2.173\% \times 6.25 = 13.582\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

- **Para SC-01b se tiene que:**

$$\%N = \frac{\text{mL de ácido titulación muestra} - \text{mL de ácido titulación blanco} \times N \text{ ácido} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra en gramos}}$$

Sustituyendo los valores correspondientes de mL de ácido gastado, en este caso 2.280 mL, no se gastó ácido en la titulación del blanco por ende este valor es de 0 mL, la concentración del ácido fue de 0.2026 N y el peso de muestra de 0.300 g.

$$\%N = \frac{2.280 \text{ mL} - 0 \text{ mL} \times 0.2026 \text{ N} \times 0.014 \times 100}{0.300 \text{ g}} = 2.156\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

Ahora, multiplicando el porcentaje de nitrógeno recién obtenido por el factor de 6.25 se tiene:

$$\text{Proteína cruda} = \% \text{ N} \times 6.25$$

$$\text{Proteína cruda} = 2.156\% \times 6.25 = 13.473\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

Entonces se promedian ambos valores como sigue:

Para Nitrogeno:

$$\% \text{N promedio} = \frac{2.173\% + 2.156\%}{2} = 2.164 \% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

Para Proteína:

$$\% \text{Proteína promedio} = \frac{13.582\% + 13.473\%}{2} = 13.53 \% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

Tabla N°10. Resultados obtenidos de nitrógeno y proteína en muestras de semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59.

| Muestra | Nitrógeno (%) | Nitrógeno Promedio (%) (g/100 g muestra) | Proteína (%) | Proteína Promedio (%) (g/100 g muestra) |
|---------|---------------|--|--------------|---|
| SC-01 | 2.173 | 2.164 | 13.582 | 13.53 |
| | 2.156 | | 13.473 | |
| SC-02 | 1.941 | 1.957 | 12.134 | 12.23 |
| | 1.973 | | 12.332 | |
| SC-03 | 1.952 | 1.921 | 12.199 | 12.01 |
| | 1.891 | | 11.818 | |
| SC-04 | 2.044 | 1.997 | 12.774 | 12.48 |
| | 1.950 | | 12.188 | |
| SC-05 | 2.241 | 2.268 | 14.005 | 14.18 |
| | 2.296 | | 14.347 | |
| SC-06 | 2.244 | 2.258 | 14.027 | 14.11 |
| | 2.272 | | 14.199 | |
| SC-07 | 2.131 | 2.142 | 13.317 | 13.39 |
| | 2.153 | | 13.457 | |

Tabla N°10. (Continuación)

| Muestra | Nitrógeno (%) | Nitrógeno Promedio (%) (g/100 g muestra) | Proteína (%) | Proteína Promedio (%) (g/100 g muestra) |
|----------------|----------------------|---|---------------------|--|
| SC-08 | 2.039 | 1.991 | 12.744 | 12.45 |
| | 1.943 | | 12.147 | |
| SC-09 | 2.012 | 1.971 | 12.578 | 12.32 |
| | 1.929 | | 12.055 | |
| GA-01 | 1.762 | 1.720 | 11.015 | 10.75 |
| | 1.677 | | 10.479 | |
| GA-02 | 1.798 | 1.825 | 11.236 | 11.41 |
| | 1.853 | | 11.582 | |
| GA-03 | 1.999 | 1.979 | 12.494 | 12.37 |
| | 1.959 | | 12.246 | |
| GA-04 | 1.784 | 1.799 | 11.153 | 11.24 |
| | 1.814 | | 11.336 | |
| GA-05 | 1.918 | 1.889 | 11.990 | 11.81 |
| | 1.860 | | 11.626 | |
| GA-06 | 1.800 | 1.754 | 11.250 | 10.96 |
| | 1.707 | | 10.671 | |
| GA-07 | 1.724 | 1.726 | 10.776 | 10.79 |
| | 1.728 | | 10.801 | |
| GA-08 | 1.904 | 1.916 | 11.902 | 11.97 |
| | 1.927 | | 12.042 | |
| GA-09 | 1.593 | 1.531 | 9.955 | 9.57 |
| | 1.470 | | 9.185 | |

Anexo N°14

Cálculos de la determinación de triptófano presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán.

Cálculos de la determinación de triptófano presente en la semilla de maíz híbrido H-59 distribuida por el CENTA y el grano cosechado en El Caserío La Ceiba, Cantón La Ceiba del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán..

A continuación se presentan ejemplos de los cálculos para determinar el porcentaje de triptófano para el caso de las semillas de maíz híbrido H-59 provenientes del CENTA y se enlistan los resultados para los granos cosechados provenientes de Ahuachapán respectivamente. Los cálculos fueron realizados utilizando hojas de cálculo de Microsoft Excel.

a. Curva de estándares de triptófano:

Una vez preparados los estándares con concentraciones de 0, 10, 15, 20, 25 y 30 $\mu\text{g/mL}$ de triptófano, se procedió a lectura de las absorbancias en un espectrofotómetro UV-Visible a 560 nm; los resultados se detallan a continuación en la Tabla N°11.

Tabla N°11. Absorbancias registradas de los estándares de triptófano.

| $\mu\text{g/mL}$ de Triptófano | Absorbancia |
|--|--------------------|
| 0 | 0.000 |
| 10 | 0.092 |
| 15 | 0.151 |
| 20 | 0.186 |
| 25 | 0.246 |
| 30 | 0.302 |

A partir de los valores obtenidos se trazó el gráfico de los estándares de triptófano que se puede apreciar en la Figura N°16.

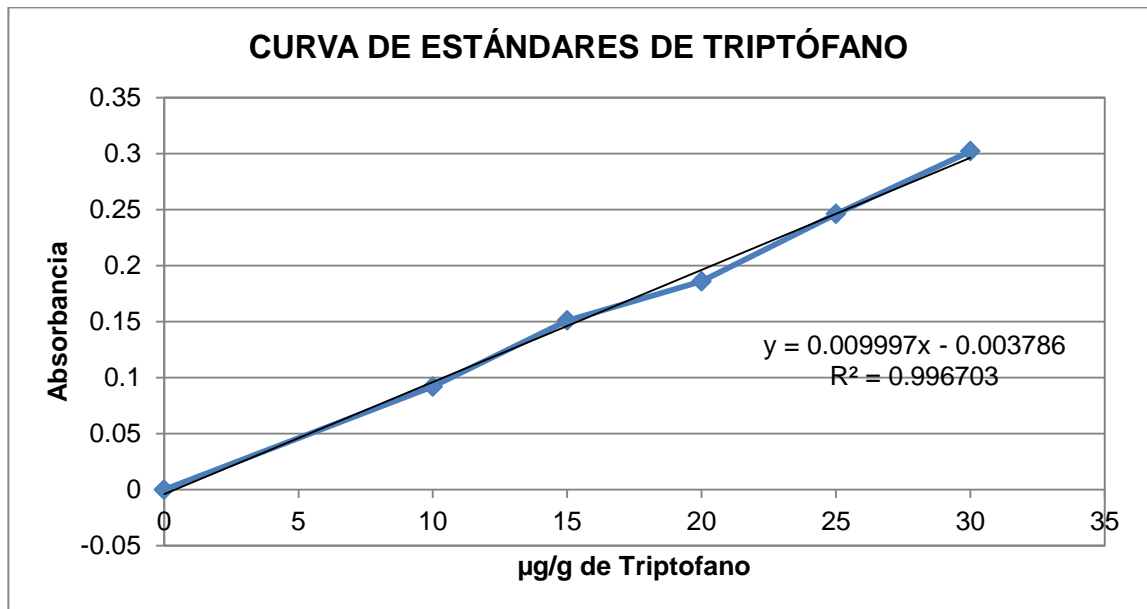


Figura N°16. Gráfico de los estándares de triptófano.

Así también, se obtuvo la ecuación de la curva, de la cual extraemos el valor de la pendiente que se utilizará para los cálculos que siguen.

$$y=0.009997x-0.003786$$

b. Cálculos del porcentaje de triptófano las muestras de semilla y grano de maíz híbrido H-59.

Se obtuvieron los siguientes pesos de muestra y absorbancias a considerar detallados en la Tabla N°12.

Tabla N°12. Pesos y absorbancias obtenidas de las muestras de semillas de maíz híbrido H-59 provenientes del CENTA y granos cosechados de Ahuachapán.

| Muestra | Identificación del duplicado | Peso de muestra | Absorbancia a 560 nm |
|---------|------------------------------|-----------------|----------------------|
| SC-01 | SC-01a | 80.1 mg | 0.903 |
| | SC-01b | 80.0 mg | 0.914 |

Tabla N°12.(Continuación).

| Muestra | Identificación del duplicado | Peso de muestra | Absorbancia a 560 nm |
|----------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| SC-02 | SC-02a | 80.0 mg | 0.967 |
| | SC-02b | 80.0 mg | 0.964 |
| SC-03 | SC-03a | 80.0 mg | 0.964 |
| | SC-03b | 80.0 mg | 0.961 |
| SC-04 | SC-04a | 80.1 mg | 1.002 |
| | SC-04b | 80.0 mg | 0.989 |
| SC-05 | SC-05a | 80.1 mg | 1.068 |
| | SC-05b | 80.0 mg | 1.073 |
| SC-06 | SC-06a | 80.1 mg | 1.051 |
| | SC-06b | 80.0 mg | 1.052 |
| SC-07 | SC-07a | 80.0 mg | 1.051 |
| | SC-07b | 80.0 mg | 1.120 |
| SC-08 | SC-08a | 80.0 mg | 0.985 |
| | SC-08b | 80.0 mg | 0.995 |
| SC-09 | SC-09a | 80.0 mg | 1.072 |
| | SC-09b | 80.0 mg | 1.075 |
| GA-01 | GA-01a | 80.1 mg | 0.981 |
| | GA-01b | 80.0 mg | 0.967 |
| GA-02 | GA-02a | 80.0 mg | 0.956 |
| | GA-02b | 80.0 mg | 0.912 |
| GA-03 | GA-03a | 80.0 mg | 0.974 |
| | GA-03b | 80.0 mg | 0.949 |
| GA-04 | GA-04a | 80.1 mg | 1.011 |
| | GA-04b | 80.0 mg | 1.024 |
| GA-05 | GA-05a | 80.0 mg | 0.992 |
| | GA-05b | 80.0 mg | 0.994 |

Tabla N°12.(Continuación).

| Muestra | Identificación del duplicado | Peso de muestra | Absorbancia a 560 nm |
|---------|------------------------------|-----------------|----------------------|
| GA-06 | GA-06a | 80.0 mg | 1.011 |
| | GA-06b | 80.0 mg | 0.998 |
| GA-07 | GA-07a | 80.0 mg | 0.992 |
| | GA-07b | 80.1 mg | 1.001 |
| GA-08 | GA-08a | 80.0 mg | 1.014 |
| | GA-08b | 80.0 mg | 0.986 |
| GA-09 | GA-09a | 80.0 mg | 0.961 |
| | GA-09b | 80.0 mg | 0.970 |

Adicionalmente, como la metodología lo sugería se obtuvieron los siguientes resultados para los blancos y controles de maíz normal y maíz ACP utilizados detallados en la Tabla N°13

Tabla N°13. Lecturas de absorbancia obtenidos en la determinación de triptófano para el blanco y los controles de maíz normal y ACP respectivamente.

| Identificación de Blanco/Controles | Identificación del duplicado | Peso de muestra | Absorbancia a 560 nm |
|------------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------|
| Blanco | Bka | --- | 0.810 |
| | Bkb | --- | 0.804 |
| Control Maíz Normal CIMMYT | Na | 80.0 mg | 0.940 |
| | Nb | 80.0 mg | 0.909 |
| Control Maíz ACP Dorado V | ACPa | 80.0 mg | 1.202 |
| | ACPb | 80.0 mg | 1.166 |

A partir de los valores obtenidos se procedió al cálculo del porcentaje de triptófano con la formula como sigue:

$$\% \text{Trp} = \frac{\text{OD } 560\text{nm}}{\text{Pendiente}} \times \frac{\text{Volumen de digestion(mL)}}{\text{Peso de la muestra}(\mu\text{g})} \times 100$$

Sin embargo, la cantidad obtenida por esta fórmula incluye el triptófano presente en la muestra, más el presente en la papaína, por lo que se procedió a corregir las lecturas obtenidas utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ muestra} - \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ blanco}$$

Por lo tanto, el porcentaje de triptófano deberá calcularse a partir del valor corregido de absorción.

$$\% \text{Trp} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} \times \text{Factor}$$

Se utilizó entonces el valor de absorbancia promedio del blanco que es **0.810**, obteniéndose así los valores corregidos de las mismas, tanto para las muestras como para los controles; además, los valores se multiplicaron por el factor para el que se consideró la pendiente de la recta obtenida anteriormente cuyo valor fue de **0.009997** por lo que al final el factor viene dado de la siguiente forma:

$$\text{Factor} = \frac{0.00375}{\text{Pendiente (OD} \cdot \text{mL}/\mu\text{g)}}$$

Sustituyendo los valores respectivos se tiene:

$$\text{Factor} = \frac{0.00375}{0.009997} = \mathbf{0.3751}$$

Note que el valor de 0.0035 procede de:

$$\frac{\text{Volumen de digestión (mL)}}{\text{Peso de muestra } (\mu\text{g})} \times 100 = \frac{3 \text{ mL}}{80000 \mu\text{g}} \times 100 = 0.00375$$

A continuación, se esquematiza los siguientes ejemplos, en donde se calculará el porcentaje de triptófano para el control de maíz normal que se utilizó como testigo y la muestra de grano de maíz H-59 GA-01 respectivamente. Las fórmulas aquí citadas aplican tanto para controles como para muestras.

- **Control de maíz normal CIMMYT (N):**

Se corrige primero la lectura de absorbancia obtenida preliminarmente, del duplicado como sigue:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ muestra} - \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ blanco}$$

- *Para Na:* Cuya absorbancia fue de 0.940:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = 0.940 - 0.810 = 0.130$$

- *Para Nb:* Cuya absorbancia fue de 0.909:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = 0.909 - 0.810 = 0.099$$

Ahora sustituyendo el factor, del que ya se ha ejemplificado como se calcula anteriormente, que fue de 0.3751 junto con los valores de absorbancia corregidos en la fórmula siguiente, se obtiene el porcentaje de triptófano presente en el control.

$$\% \text{Trp} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} \times \text{Factor}$$

- *Para Na:*

$$\% \text{Trp} = 0.130 \times 0.3751 = 0.049\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

- *Para Nb:*

$$\% \text{Trp} = 0.099 \times 0.3751 = 0.037\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

Entonces se procede a promediar los valores de triptófano obtenidos:

$$\% \text{ Trp promedio} = \frac{0.049\% + 0.037\%}{2} = 0.043\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

De ésta manera se procede para el cálculo del porcentaje de triptófano en el control de maíz ACP utilizado.

- **Grano de maíz híbrido H-59 (GA-01):**

Así como en el ejemplo anterior, se corrigen primero las lecturas de absorbancia obtenidas preliminarmente en el duplicado como sigue:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ muestra} - \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ blanco}$$

- *Para GA-01a:* Cuya absorbancia fue de 0.981:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = 0.981 - 0.810 = 0.171$$

- *Para GA-01b:* Cuya absorbancia fue de 0.967:

$$\text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} = 0.967 - 0.810 = 0.157$$

Ésta vez se introduce la variante que para el duplicado GA-01a se tiene un peso de 80.1 mg, entonces se procede a calcular el factor nuevamente, resultando un valor de 0.3746 para éste duplicado y de 0.3751 que permanece invariable para GA-01b; ahora, junto con los valores de absorbancia corregidos se sustituyen en la fórmula siguiente en donde se obtiene el porcentaje de triptófano presente en la muestra.

$$\% \text{Trp} = \text{OD}_{560\text{nm}} \text{ corregido} \times \text{Factor}$$

- *Para Na:*

$$\% \text{Trp} = 0.171 \times 0.3746 = 0.064\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

- *Para Nb:*

$$\% \text{Trp} = 0.157 \times 0.3751 = 0.059\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

Entonces se procede a promediar los valores de triptófano obtenidos:

$$\% \text{ Trp promedio} = \frac{0.064\% + 0.059\%}{2} = 0.061\% \text{ (g/100 g de muestra)}$$

De esta manera se calcularon los valores de triptófano para los controles, muestras de semilla y grano de maíz híbrido H-59, obteniéndose las siguientes absorbancias corregidas y los valores de triptófano, que se detallan en las Tablas N°14 y 15 respectivamente.

Tabla N°14. Valores de absorbancia corregidos y el porcentaje de triptófano obtenidos para los controles de maíz normal y ACP.

| Identificación de Blanco/Controles | Identificación del duplicado | Absorbancia a 560 nm corregida | Triptófano (%) | Triptófano Promedio (%) (g/100 g de muestra) |
|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|--|
| Control Maíz Normal CIMMYT | Na | 0.130 | 0.049 | 0.043 |
| | Nb | 0.099 | 0.037 | |
| Control Maíz ACP Dorado V | ACPa | 0.392 | 0.147 | 0.140 |
| | ACPb | 0.356 | 0.134 | |

Tabla N°15. Valores de absorbancia corregidos y porcentaje de triptófano obtenidos para las muestras de semilla y grano cosechado de maíz híbrido H-59.

| Muestra | Identificación del duplicado | Absorbancia a 560 nm corregida | Triptófano (%) | Triptófano Promedio (%) (g/100 g de muestra) |
|---------|------------------------------|--------------------------------|----------------|--|
| SC-01 | SC-01a | 0.093 | 0.035 | 0.037 |
| | SC-01b | 0.104 | 0.039 | |
| SC-02 | SC-02a | 0.157 | 0.059 | 0.058 |
| | SC-02b | 0.154 | 0.058 | |
| SC-03 | SC-03a | 0.154 | 0.058 | 0.057 |
| | SC-03b | 0.151 | 0.057 | |
| SC-04 | SC-04a | 0.192 | 0.072 | 0.070 |
| | SC-04b | 0.179 | 0.067 | |
| SC-05 | SC-05a | 0.258 | 0.097 | 0.098 |
| | SC-05b | 0.263 | 0.099 | |
| SC-06 | SC-06a | 0.241 | 0.090 | 0.091 |
| | SC-06b | 0.242 | 0.091 | |

Tabla N°15. (Continuación)

| Muestra | Identificación del duplicado | Absorbancia a 560 nm corregida | Triptófano (%) | Triptófano Promedio (%) (g/100 g de muestra) |
|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---|
| SC-07 | SC-07a | 0.241 | 0.090 | 0.103 |
| | SC-07b | 0.310 | 0.116 | |
| SC-08 | SC-08a | 0.175 | 0.066 | 0.068 |
| | SC-08b | 0.185 | 0.069 | |
| SC-09 | SC-09a | 0.262 | 0.098 | 0.099 |
| | SC-09b | 0.265 | 0.099 | |
| GA-01 | GA-01a | 0.171 | 0.064 | 0.061 |
| | GA-01b | 0.157 | 0.059 | |
| GA-02 | GA-02a | 0.146 | 0.055 | 0.047 |
| | GA-02b | 0.102 | 0.038 | |
| GA-03 | GA-03a | 0.164 | 0.062 | 0.057 |
| | GA-03b | 0.139 | 0.052 | |
| GA-04 | GA-04a | 0.201 | 0.075 | 0.078 |
| | GA-04b | 0.214 | 0.080 | |
| GA-05 | GA-05a | 0.182 | 0.068 | 0.069 |
| | GA-05b | 0.184 | 0.069 | |
| GA-06 | GA-06a | 0.201 | 0.075 | 0.073 |
| | GA-06b | 0.188 | 0.071 | |
| GA-07 | GA-07a | 0.182 | 0.068 | 0.070 |
| | GA-07b | 0.191 | 0.072 | |
| GA-08 | GA-08a | 0.204 | 0.077 | 0.071 |
| | GA-08b | 0.176 | 0.066 | |
| GA-09 | GA-09a | 0.151 | 0.057 | 0.058 |
| | GA-09b | 0.160 | 0.060 | |

Anexo N°15

**Calculo del Índice de calidad de la semilla y del grano cosechado de
maíz híbrido H-59**

Anexo N°15

Calculo del índice de calidad de la semilla y del grano cosechado de maíz híbrido H-59

El índice de calidad (IC) representa la proporción de triptófano a proteína presente en la muestra, expresada en un porcentaje. Por ejemplo:

- El triptófano presente en la muestra de semilla SC-01 es de 0.037% y la proteína en la misma es de 13.53%; entonces para esa muestra se obtiene el IC de la siguiente forma:

$$IC=100 \times \frac{0.037\%}{13.53\%} = 0.27$$

De esta manera se calculó el índice de calidad para las demás muestras, detallándose los resultados en la tabla N°16, que se muestra a continuación.

Tabla N°16: Índice de calidad de la semilla y del grano cosechado de maíz híbrido H-59.

| Procedencia/Identificación de la muestra | | Índice de Calidad (%) |
|--|-----------------|-----------------------|
| Semilla de CENTA | SC-01 | 0.27 |
| | SC-02 | 0.48 |
| | SC-03 | 0.48 |
| | SC-04 | 0.56 |
| | SC-05 | 0.69 |
| | SC-06 | 0.64 |
| | SC-07 | 0.77 |
| | SC-08 | 0.54 |
| | SC-09 | 0.80 |
| | Promedio | 0.58 |
| Grano cosechado Ahuachpán | GA-01 | 0.57 |
| | GA-02 | 0.41 |
| | GA-03 | 0.46 |
| | GA-04 | 0.69 |
| | GA-05 | 0.58 |

Tabla N°16. (Continuación)

| Procedencia/Identificación de la muestra | Índice de Calidad (%) | |
|--|-----------------------|-------------|
| Grano cosechado Ahuachapán | GA-06 | 0.67 |
| | GA-07 | 0.65 |
| | GA-08 | 0.60 |
| | GA-09 | 0.61 |
| | Promedio | 0.58 |

Anexo N°16

Calculo del porcentaje indirecto de lisina en la semilla y del grano cosechado de maíz híbrido H-59

Anexo N°16

Calculo del porcentaje de lisina indirectamente de la semilla y del grano cosechado de maíz hibrido H-59 ⁽¹⁷⁾

Debido a la relación observada entre el contenido de estos dos aminoácidos en la proteína del maíz (por 1 unidad de triptófano, hay 4 unidades de lisina), el porcentaje de lisina se obtendrá indirectamente a partir del porcentaje de triptófano cuantificado; de la siguiente manera:

$$\% \text{ Lisina} = \% \text{ Triptófano} \times 4$$

Dónde: 4 es el valor de la relación de lisina con respecto al triptófano.

Como ejemplo se tiene el siguiente cálculo para la muestra de grano de maíz híbrido H-59, GA-01 cuyo contenido de triptófano es de 0.061%:

$$\% \text{ Lisina} = 0.061\% \times 4 = \mathbf{0.244\%} \text{ (g/100 g de muestra)}$$

En la Tabla N°17 se muestran los resultados correspondientes.

Tabla N°17. Valores de Lisina de la semilla y del grano cosechado de maíz hibrido H-59 .

| Procedencia/Identificación de la muestra | | Lisina (%) (g/100 g de muestra) |
|--|-------|------------------------------------|
| Semilla CENTA | SC-01 | 0.148 |
| | SC-02 | 0.233 |
| | SC-03 | 0.229 |
| | SC-04 | 0.278 |
| | SC-05 | 0.391 |
| | SC-06 | 0.362 |
| | SC-07 | 0.413 |
| | SC-08 | 0.270 |
| | SC-09 | 0.395 |

Tabla N°17. (Continuación)

| Procedencia/Identificación de la muestra | | Lisina (%) (g/100 g de muestra) |
|--|-------|------------------------------------|
| Grano cosechado Ahuachapán | GA-01 | 0.244 |
| | GA-02 | 0.188 |
| | GA-03 | 0.228 |
| | GA-04 | 0.312 |
| | GA-05 | 0.276 |
| | GA-06 | 0.292 |
| | GA-07 | 0.280 |
| | GA-08 | 0.284 |
| | GA-09 | 0.232 |