

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



CUANTIFICACIÓN DE TANINOS EN SEIS LINEAS GENÉTICAS DE *Sorghum bicolor*
L. (SORGO) UTILIZADAS COMO PATRÓN PARA EL MEJORAMIENTO GENÉTICO

TRABAJO DE GRADO
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PRESENTADO POR
MARVIN ALEXANDER GÁLVEZ MARROQUÍN
ROMEO ULISES NÚÑEZ SERRANO

PARA OPTAR AL GRADO DE
LICENCIADO EN QUÍMICA Y FARMACIA

JUNIO DE 2024

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MAESTRA NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICENCIADA EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL (AD-HONOREM)

MAESTRA KATIA LISSETTE MARTÍNEZ DE PALACIOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

MAESTRA FLOR DE MARÍA LÓPEZ

MAESTRO JUAN MILTON FLORES TENSOS

TRIBUNAL EVALUADOR

ASESOR DE ÁREA EN APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES

MAESTRA MORENA LIZETTE MARTÍNEZ DE DÍAZ

ASESOR DE ÁREA EN INDUSTRIA FARMACÉUTICA, COSMÉTICOS, VETERINARIA Y
PRODUCTOS AFINES

MAESTRO ELISEO ERNESTO AYALA MEJÍA

DOCENTE ASESORA

MAESTRA MARLENE EMPERATRIZ ACOSTA MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

A nuestros Docentes Asesores, MSc. Marlene Emperatriz Acosta Acosta, MSc. Flor de María López y MSc. Juan Milton Flores Tensos, por su experticia en la guía de este trabajo, paciencia, tiempo y dedicación, su apoyo ha sido fundamental para la culminación exitosa de este trabajo.

A la Directora General de Procesos de Grado MSc. Katia Lisette Martínez De Palacios y los asesores de área MSc. Morena Lizette Martínez De Díaz y MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía, por sus consejos y su tiempo dedicado para enriquecer nuestro trabajo de grado.

Agradecemos de manera especial al Laboratorio de Investigación del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y a todas las personas que conforman este Departamento por su hospitalidad al poner a nuestra disposición el uso de sus instalaciones, equipos y materiales.

A la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador por proporcionarnos las muestras de las variedades de sorgo de los bancos forrajeros.

También agradecemos a todos los docentes de Facultad de Química y Farmacia que nos orientaron y brindaron recursos durante la fase de investigación y a todas las personas que han contribuido de alguna manera a la realización de esta tesis.

A todos ustedes, nuestros más agradecimientos.

DEDICATORIA

Quiero dedicar de manera especial este proyecto a la persona que me dio la vida, a ti mamá, que en tu tiempo en el paso terrenal dedicaste tu vida y esfuerzo para que pudiera culminar mi carrera, sé que no estas más conmigo de una manera física, pero guardo tu risa y tu afecto como la más preciada joya en mi corazón, sé que desde el cielo velas e intercedes ante Dios por mi bienestar y que se cumplan todos los deseos y anhelos de mi corazón te dedico este triunfo a ti a mí a mi más preciada Joya.

A mi padre Roberto Galvez, a mis hermanos Melvin, Ronald, Bryan y Nayeli Gálvez, a mis tías, y abuelita Emma Marroquín por su incondicional apoyo en toda mi carrera, por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida. A Dios y a la Virgen Maria por la sabiduría, salud y ganas de aprender que me brindan.

A mis docentes asesores MSc. Marlene Emperatriz Acosta Martínez, MSc. Flor de María López y MSc. Juan Milton Flores Tensos, porque siempre estuvieron dispuestos a apoyarnos y orientarnos para realizar nuestro trabajo de graduación.

A mi amigo y compañero Romeo Núñez, por su apoyo, paciencia y esfuerzo desde el inicio de la carrera, hasta esta gran aventura que nos permitió terminarla.

A mis amigos Lorena, Marcela, Roxana, Ingrid, Jennifer, Patricia Katherine, Fátima Cortez, David, Edwin, Gabriela, Marielos, Fátima Hernández, Carmen y Rony, por su compañía durante momentos difíciles y momentos gratos celebrando cada pequeño logro conmigo.

A todos aquellos que ayudaron a mi crecimiento personal y profesional hasta el día de hoy e hicieron este logro posible GRACIAS.

Marvin Alexander Gálvez Marroquín

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente de inspiración en cada paso de este camino. Gracias por las bendiciones y por darme la sabiduría y el valor para enfrentar los desafíos.

A mi esposa, Ana Teresa Crespín De Núñez, por su amor incondicional, paciencia y apoyo. Gracias por creer en mí, por tu comprensión y por estar a mi lado en cada momento de este viaje.

A mis padres, José Arnulfo Núñez Mena y Marina Antonia Serrano Monje, por su apoyo en mi educación y por enseñarme a ser cada día mejor persona.

En memoria a mis abuelos, Servelio de Jesús Núñez Alvarenga y Carmen de Jesús Mena De Núñez, cuya sabiduría ha sido una fuente constante de inspiración y motivación.

A mis amigos y compañeros, por estar siempre a mi lado, ofreciendo su ánimo y compañía durante los momentos difíciles y celebrando cada pequeño logro conmigo.

A mis profesores y mentores, por guiarme, enseñarme y ayudarme a crecer académica y personalmente.

A todos aquellos que, de una manera u otra, contribuyeron a este logro, dedicándome su tiempo, su conocimiento y su apoyo.

Con gratitud y cariño,

Romeo Ulises Núñez Serrano

ÍNDICE GENERAL

Pág. N°

ABREVIATURAS

GLOSARIO

RESUMEN

CAPITULO I

1.0 INTRODUCCION 17

CAPITULO II

2.0 OBJETIVOS 20

CAPITULO III

3.0 MARCO TEORICO 22

3.1 Alimentación 22

3.1.1 Alimentación Animal 22

3.1.2 Factores considerados en la formulación de raciones 23

3.1.2.1 Requerimientos nutritivos 23

3.1.2.2 Clasificación de los alimentos 23

3.1.3 Definición y características de los forrajes 26

3.2 Generalidades sobre las gramíneas 27

3.2.1 Morfología de las gramíneas 27

3.3 Generalidades sobre *Sorghum bicolor* 29

3.3.1 Clasificación científica 29

3.3.2. Origen 30

3.3.3 Descripción botánica 30

3.3.4 Requerimientos edafoclimáticos 31

3.4 El sorgo como forraje 31

3.5 Generalidades de los taninos 32

3.5.1 Características de los taninos	33
3.5.2 Propiedades fisicoquímicas de los taninos	34
3.5.3 Clasificación de los taninos	34
3.6 Usos de los taninos	36
3.7 Efectos de los taninos sobre otras moléculas	37
3.7.1 Interacción química de taninos con proteínas	37
3.7.2 Interacción química de taninos con carbohidratos	38
3.8 Uso de taninos en nutrición animal	39
3.8.1 Protección de suplementos proteicos frente a la degradación rumial	39
3.8.2 Principales métodos utilizados para la protección de los suplementos proteicos	39
3.8.3 Empleo de taninos	40
3.9 Variedades de sorgo con taninos	41
3.9.1 Sorgo bmr	41
3.9.2 Variedad de sorgo color rojo con tanino	42
3.9.3 Localización de los taninos en la planta	42
3.9.4 Desarrollo de variedades e híbridos de sorgo (bmr) y taninos en el grano 2017	43
3.10 Métodos de cuantificación	45
3.10.1 Cuantificación de fenoles totales	45
3.10.2 Cuantificación de taninos condensados	46
3.11 Mejoramiento de semilla en El Salvador	46
3.12 Estación experimental y de prácticas Centro Tecnológico de Agricultura y Ganadería (CETAG)	46
CAPITULO IV	
4.0 DISEÑO METODOLÓGICO	49
4.1 Tipo de estudio	49
4.2 Investigación bibliográfica	49
4.3 Investigación de campo	49
4.4 Parte experimental	51

4.4.1 Preparación de la muestra	51
4.4.2 Determinación de Humedad parcial de la muestra	51
4.4.3 Preparación del número de repeticiones por muestras a realizar para el análisis	52
4.4.4 Métodos para la cuantificación de taninos	52
4.5 Metodología estadística	55
4.5.1 Hipótesis	55
4.5.2 Análisis estadístico	55
CAPITULO V	
5.0 RESULTADOS	57
CAPITULO VI	
6.0 CONCLUSIONES	72
CAPITULO VII	
7.0 RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura N°		Pág. N°
1	Principales nutrientes y sus funciones en el animal	23
2	Tipos de espiguilla de gramíneas	28
3	Floración de espiga y formación de grano de <i>Sorghum bicolor</i> L.	29
4	Unidades básicas de estructura química de los taninos: a) Ácido gálico, b) Ácido elágico, c) Catequina.	35
5	Ejemplo de estructura química de taninos hidrolizables:a) Pentagaloil glucosa y b) Vescalagina	35
6	Polímeros de Taninos condensados	36
7	Comportamiento dependiente del pH de los complejos tanino proteína	41
8	Hoja de sorgo bmr con su vena color café	42
9	Porcentajes de taninos totales en hojas en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado)	61
10	Porcentajes de taninos totales en tallos en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado)	62
11	Porcentajes de taninos totales en panojas en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado)	63
12	Porcentajes de taninos totales en planta completa en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado)	64
13	Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en hojas respecto a base seca	65
14	Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en tallos respecto a la base seca	66
15	Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en panoja respecto a la base seca	67
16	Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en planta completa respecto a la base seca	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Pág. N°
1	Líneas promisorias de sorgo forrajero bmr con taninos y abreviaturas	45
2	Preparación de la curva de calibración	53
3	Resultados promedios de taninos totales por el método de Folin-Ciocalteu modificado en base seca	58
4	Resultados promedios de taninos condensados por el método de proantocianidinas respecto a su base seca	60
5	Resultados promedio de taninos totales	68
6	Desviación estándar de los porcentajes de taninos totales	69
7	Resultados del análisis de varianza obtenidos en la parte de la planta y la línea genética	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°

- 1 Ubicación geográfica de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador
- 2 Materiales, Equipos y Reactivos, utilizados para los análisis
- 3 Procedimientos de análisis
- 4 Esquema de cuantificación de Taninos
- 5 Esquema del total de análisis para la cuantificación de taninos
- 6 Procedimiento de preparación de extracto acetónico
- 7 Procedimiento para la cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu modificado
- 8 Procedimiento para la remoción de taninos del extracto acetónico por el Método de Folin-Ciocalteu modificado
- 9 Procedimiento para la cuantificación de taninos condensados por el Método de proantocianidinas
- 10 Cálculos
- 11 Fotografías del proceso de recolección de muestras, procesamiento, tratamiento y análisis en el laboratorio.
- 12 Resultados de la cuantificación de Taninos totales por el método de Folin-Ciocalteu modificado en seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo).
- 13 Resultados de curva de calibración de ácido tánico
- 14 Resultados y cálculos de la Prueba F para el análisis de varianza al 95% de confianza de las muestras para la cuantificación de Taninos totales en seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo)
- 15 Resultados de la cuantificación de taninos condensados por el método de proantocianidinas en seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo).

ABREVIATURAS

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

ENm: Energía metabolizable

FAD: Fibra Ácido Detergente

FND: Fibra Neutro Detergente

MS: Materia Seca

msnm: metros sobre el nivel del mar

P: Probabilidad estadística

Pas: Proantocianidinas

PC: Proteína Cruda

PDR: Proteína Degradable en el Rumen

PEG: Propilenglicol

PNDR: Proteína No Degradable en el Rumen

PVPP: Polivinil pirrolidona

RTM: Ración Total Mezclada

TC: Taninos Condensados

TH: Taninos Hidrolizables

UES: Universidad de El Salvador

GLOSARIO

- **Antinutriente:** Sustancias que dificultan la absorción del alimento. Podrían actuar entorpeciendo el aprovechamiento de los hidratos de carbono, grasas, proteínas, vitaminas o minerales¹.
- **Biomasa:** La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente².
- **Proteína degradable en el rumen:** Esta proteína es hidrolizada en el rumen hasta amoníaco (NH₃), aminoácidos y péptidos y sirve como fuente de nitrógeno para la síntesis de proteína por parte de los microorganismos ruminales³.
- **Proteína no degradable en el rumen:** Proteína No Degradable en Rumen o proteína de by-pass³, es la fracción de la proteína total de alimento que no es degradada por los microorganismos del rumen y pasa inalterada al intestino, donde puede ser digerida, absorbida y utilizada para el animal⁴.
- **Ración total mezclada:** La RTM busca combinar todos los alimentos que se suministran a las vacas lecheras en una única ración, de manera que consuman los nutrientes esenciales en un bocado balanceado y completo^{5, 6}.

RESUMEN

El sorgo es utilizado por tener buenos rendimientos de biomasa en el sector ganadero y poseer una serie de compuestos de importancia como proteínas, fibras, carbohidratos, minerales y taninos, estos compuestos están distribuidos en distintas proporciones y en diferentes partes de la planta, además los taninos ayudan en múltiples funciones a la planta desde fisiológicas, protección contra agentes patógenos, depredadores y radiación ultravioleta.

Anteriormente, los taninos condensados se consideraban sustancias antinutritivas en concentraciones del 5 al 10% en la materia seca, ya que en la alimentación del ganado se asociaban a la baja palatabilidad, baja digestibilidad en el forraje y baja absorción de proteínas. Sin embargo, en porcentajes adecuados del 2 al 4% en materia seca estos son beneficiosos en la alimentación del ganado gracias a la formación de la proteína sobrepasante.

El objetivo general de esta investigación fue la cuantificación de taninos en seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo) utilizadas como patrón para el mejoramiento genético, por dos métodos espectrofotométricos. Las muestras fueron colectadas de los bancos forrajeros de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador y los análisis fueron realizados por triplicado en el Laboratorio de Investigación del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el periodo de agosto a octubre de 2019.

Los resultados de las muestras en estudio se evaluaron en sus partes de la planta (hojas, tallos, panojas) y como planta completa de cada una de las líneas genéticas, obteniendo concentraciones de taninos totales en un rango de 0.132% al 3.045% y 0.025% al 0.365% de taninos condensados. Estadísticamente utilizando la prueba F para análisis de varianza al 95% de confianza, encontramos que las diferentes partes de la planta y las líneas genéticas presentaron diferencias significativas en la concentración de taninos totales que estas poseen. Por lo que se recomienda realizar la cuantificación de taninos totales y condensados en las variedades de sorgo utilizadas en esta investigación, con mezclas de fuentes forrajeras y raciones totales a base de leguminosas, con el fin de diseñar estrategias efectivas que ayuden cumplir con la concentración de taninos condensados del 2 al 4%, para obtener el beneficio de la proteína sobrepasante.

CAPITULO I

1.0 INTRODUCCION

El *Sorghum bicolor* L. (Sorgo) es uno de los cereales de la familia de las gramíneas que adquiere cada vez mayor relevancia por sus potencialidades agronómicas, nutricionales (como alimento humano y animal) y capacidad de adaptación edafoclimática. En la alimentación animal es utilizado como forraje fresco, ensilado y ración total mezclada (RTM). El sorgo granífero es el quinto cereal más importante en el mundo después del trigo, arroz, maíz y cebada, además de tener buenos rendimientos de biomasa para el sector ganadero y poseer una serie de compuestos de importancia como: proteína, fibra, carbohidratos, minerales y actualmente taninos.

Los taninos son metabolitos secundarios que se encuentran en diversas especies vegetales distribuidos en distintas proporciones y en diferentes partes de esta, donde cumplen diversas funciones fisiológicas y protectoras contra agentes patógenos, depredadores o radiación ultravioleta.

Anteriormente, los taninos se consideraban como antinutrientes por su capacidad de formar complejos proteína-tanino en el lumen gastrointestinal del ganado vacuno, al cual llega mediante la ingesta de materiales que lo contienen. Sin embargo, en la actualidad se consideran beneficiosos en porcentajes adecuados del 2- 4 % en forrajes respecto a la materia seca, pero a concentraciones del 5- 10% en materia seca, se disminuye la biodisponibilidad de las proteínas para su correcta absorción afectando el desarrollo animal y la calidad de la leche producida. Estos efectos se traducen en pérdidas económicas y sociales pues representan factores determinantes de la seguridad alimentaria animal y humana.

La presente investigación se realizó teniendo como objetivo general la cuantificación de taninos totales y condensados (clasificación de los taninos por sus propiedades químicas) en seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo) utilizados como patrón de semillas para el mejoramiento genético en el Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), haciendo relevante esta investigación porque proporcionó valores reales de taninos a considerar en futuros trabajos de mejoramiento genético con dichos materiales.

Las muestras de sorgo fueron colectadas de los bancos forrajeros de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el Municipio de San Luis Talpa, Departamento de La Paz durante el mes de agosto del 2019.

Los análisis se realizaron en el periodo de septiembre y octubre del 2019, cuantificando taninos totales por el método de Folin-Ciocalteu modificado, y los taninos condensados por el método de proantocianidinas (HCl-Butanol), en hoja, tallo, panoja y planta completa, para cada una de las seis líneas genéticas. Los análisis fueron realizados por triplicado en el Laboratorio de Investigación del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, toda la investigación se realizó durante los meses de enero del 2019 a junio del 2024.

Los resultados de las muestras en estudio se evaluaron en sus diferentes partes de la planta (hojas, tallos, panojas) y como planta completa de cada una de las líneas genéticas, obteniendo concentraciones de taninos totales en un rango de 0.132% al 3.045% y 0.025% al 0.365% de taninos condensados. Estadísticamente utilizando la prueba F para análisis de varianza al 95% de confianza, las diferentes partes de la planta y las líneas genéticas presentaron diferencias significativas en la concentración de taninos totales que estas poseen.

Las concentraciones de taninos condensados de todas las muestras en estudio fueron inferiores al 2%, por lo que se recomienda con el fin de diseñar estrategias efectivas que ayuden cumplir con la concentración de taninos condensados del 2 al 4%, para obtener el beneficio de la proteína sobrepasante, complementar con mezclas de fuentes forrajeras y raciones totales a base de leguminosas.

CAPITULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

Cuantificar taninos en seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo) utilizadas como patrón para el mejoramiento genético.

2.2 Objetivos Específicos:

2.2.1 Determinar por espectroscopia UV, la concentración de taninos totales por el método de Folin Ciocalteu modificado en: hoja, tallo, panoja y planta completa de cada una de las líneas genéticas de sorgo.

2.2.2 Utilizar espectroscopia UV para determinar la concentración de taninos condensados mediante el método de proantocianidinas (HCl-Butanol) en las hojas, tallos, panojas y planta completa de las diferentes líneas genéticas de sorgo.

2.2.3 Comparar la variación de la concentración de taninos totales contenidos en las diferentes partes de la planta utilizadas en el presente estudio de seis líneas genéticas a través del método estadístico de análisis de varianza.

CAPITULO III

3.0 MARCO TEORICO

3.1 Alimentación ⁷

La alimentación: Consiste en obtener del entorno una serie de productos, naturales o transformados, que conocemos con el nombre de alimentos, estos contienen una serie de sustancias químicas denominadas nutrientes, además de los elementos propios de cada uno de ellos que les dan unas características propias. La alimentación es, en definitiva, un proceso de selección de alimentos, fruto de la disponibilidad y el aprendizaje de cada individuo, que le permitirán componer su ración diaria y fraccionarla a lo largo del día de acuerdo con sus hábitos y condiciones personales. Este proceso está influido por factores socioeconómicos, psicológicos y geográficos; es, por tanto, un proceso voluntario.

Los alimentos: son sustancias naturales o transformadas que contienen uno o, más a menudo, varios elementos nutritivos. Los seres los ingieren para saciar el hambre. Pueden ser de origen animal o vegetal, líquidos o sólidos. El agua y la sal pueden considerarse de origen mineral. Tras ser ingeridos, los alimentos avanzan por el tubo digestivo donde, mediante el proceso físico-químico de la digestión, irán cediendo sus nutrientes para que sean, a continuación, absorbidos.

3.1.1 Alimentación Animal ⁶

La capacidad de producción de los animales de interés zootécnico se determina por el potencial genético, la alimentación y las condiciones medioambientales donde éstos se encuentren. La nutrición Animal es la ciencia que estudia las reacciones bioquímicas y procesos fisiológicos que sufre el alimento en el organismo animal para transformarse en leche, carne, trabajo, etc., y que a su vez permite que los animales expresen al máximo su potencial genético. Es decir, cuando los alimentos suministrados a los animales no satisfacen sus necesidades, éstos no podrán expresar al máximo su potencial productivo (Ver Figura N° 1.).

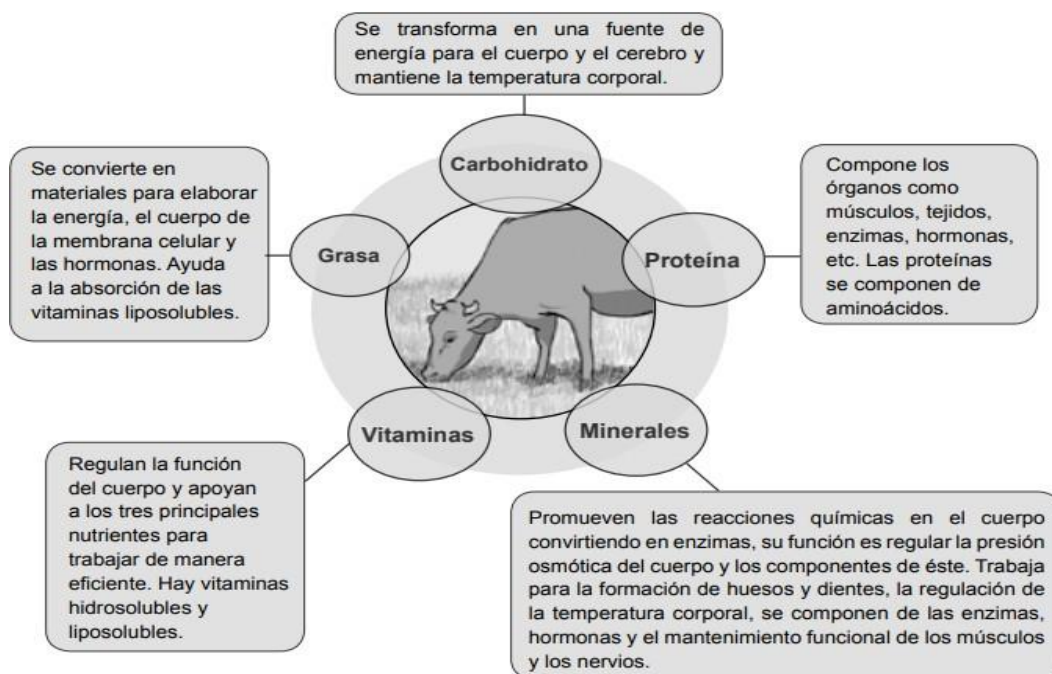


Figura N°1. Principales nutrientes y sus funciones en el animal ⁶.

3.1.2 Factores considerados en la formulación de raciones

3.1.2.1 Requerimientos nutritivos ⁷

Las vacas deben ser alimentadas de acuerdo a sus requerimientos nutritivos, estos varían de acuerdo al peso vivo, nivel de producción, momento de lactancia del hato y la composición de la leche. Todos estos aspectos deben ser considerados para formular una ración óptima, en lo que se considera una cierta proporción de forraje y concentrado.

Se define como nutriente a aquel elemento o compuesto específico derivado del alimento ingerido y usado para mantener los procesos fisiológicos de la vida, los más importantes son: agua, energía, proteína, fibra, minerales y vitaminas.

3.1.2.2 Clasificación de los alimentos ^{6, 7, 8}

Los alimentos utilizados para ganado se clasifican en: alimentos de volumen o groseros, concentrados, raciones totales mezcladas, minerales y vitaminas.

Alimentos de volumen o groseros

Tienen alto porcentaje de fibra (18-50%) y alto contenido de agua (10-90%), de acuerdo al orden decreciente de materia seca serán: pajas, henos, ensilajes, forrajes verdes o pastos, entre otros.

- **Paja:** Es el residuo de los cereales que queda después de la recolección de su grano, está compuesta básicamente por tallos (cañas) y hojas secas. Constituyen un alimento de baja calidad, pero de enorme utilidad para los ganaderos en épocas de escasez de forrajes verdes.
- **Heno:** Es un forraje consistente a la siega de forrajes verdes que ha sido conservado por desecación natural hasta alcanzar un contenido de humedad inferior a un 20% y luego es almacenado en forma de pacas.
- **Ensilados:** El ensilaje es la fermentación de los carbohidratos solubles del forraje por medio de bacterias que producen ácido láctico en condiciones anaeróbicas. El producto final es la conservación del alimento porque la acidificación del medio inhibe el desarrollo de microorganismos. El oxígeno es perjudicial para el proceso porque habilita la acción de microorganismos aerobios que degradan el forraje ensilado hasta CO_2 y H_2O . Este proceso sirve para almacenar alimento en tiempos de cosecha y suministrarlo en tiempo de escasez, conservando la calidad y la palatabilidad a bajo costo, permitiendo aumentar el número de animales por hectárea.
- **Forrajes verdes:** Son las partes vegetativas de las gramíneas o de las leguminosas que contienen una alta proporción de fibra (más de 30% de Fibra Neutro Detergente, (FND)). Pueden ser pastoreados directamente, o cosechados y preservados como ensilaje o heno. La ingestión de energía y la producción de leche pueden estar limitadas si hay demasiado forraje en la ración. Según la madurez, las leguminosas pueden tener 15 a 23% de proteína cruda, las gramíneas contienen 8 a 18% proteína cruda (según el nivel de fertilización con nitrógeno) y los residuos de cosechas pueden tener solo 3 a 4% de proteína cruda.

El principal factor limitante en la nutrición de los bovinos con forrajes de las regiones tropicales, es el bajo contenido proteico de estos, ya que conforme avanza su crecimiento, los

porcentajes de proteína cruda decaen. Las bases de todas las raciones lecheras deben ser los forrajes secos y ensilados, o las praderas. Los forrajes succulentos y los henos, constituyen las fuentes nutrientes más económicas para la alimentación de ganado estabulado.

Concentrados

Usualmente "concentrado" se refiere a alimentos bajos en fibra y altos en energía. Los concentrados pueden ser altos o bajos en proteína, tienen alta palatabilidad y usualmente son comidos rápidamente. Tienen bajo volumen por unidad de peso (alta gravedad específica). No estimulan la rumia y usualmente fermentan más rápidamente que los forrajes en el rumen. Las vacas con alto potencial para la producción lechera también tienen altos requerimientos de energía y proteína. Considerando que las vacas pueden comer solo cierta cantidad cada día, los forrajes solos no pueden suministrar la cantidad requerida de energía y proteína. El propósito de agregar concentrados a la ración de la vaca lechera es el de proveer una fuente de energía y proteína para suplementar los forrajes y cumplir con los requisitos del animal.

Se considera fuentes proteicas a las que contienen más de 20% de proteína cruda, por ejemplo: harina de soya, sólidos de destilería; y fuentes de energía a las que tienen menos de 18% de fibra por ejemplo: cereales como maíz y sorgo, subproductos como afrecho y pulimento, grasas como aceites y cebos.

Ración Total Mezclada (RTM)

La Ración Total Mezclada se define como la mezcla de forrajes, concentrados y suplementos, formulada para llenar los requerimientos nutricionales específicos de las vacas y ser alimentadas a libre consumo. La RTM es una buena opción para incluir diversos tipos de ingredientes como subproductos de destilería, citropulpa, semilla de algodón y otros. Algunos de estos productos podrían no ser muy palatables si se ofrecen individualmente, pero cuando se mezclan con heno, pasto o ensilado, se enmascara el mal sabor y se obtienen los beneficios nutricionales del subproducto. Con la RTM se mejora la eficiencia alimenticia ya que, al ofrecer diversos tipos de ingredientes, se da una sincronización de nutrientes a nivel rumial de manera que los microorganismos del rumen cuenten con niveles adecuados de energía, proteína y minerales.

Minerales

En el cuerpo existen muchos minerales como Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) que son los componentes principales en la formación de los huesos y dientes, así mismo el Potasio (K) y el Sodio (Na) participan en la regulación de la presión osmótica. Además, una porción mineral es un constituyente del cuerpo y también es responsable de la regulación del metabolismo y el mantenimiento funcional del mismo.

Vitaminas

Aunque el ganado bovino probablemente necesita todas las vitaminas conocidas, no es necesario tener una fuente dietética de vitaminas C y K y del complejo de vitamina B, excepto en animales muy jóvenes.

3.1.3 Definición y características de los forrajes ⁸

Existen dos tipos de forrajes según el grado de procesamiento o mano de obra involucrada en la preparación de este, el forraje verde es aquel que se le da al ganado recién cortado o se deja a su disposición directamente de la plantación, el forraje seco es aquel que se le da al ganado cuando hay poca oferta de forraje verde, es decir, este es un forraje que ha pasado por un proceso de secado para conservarlo y poder ser suministrado en tiempo de escases.

– Forrajes verdes, pasturas, campo natural y forrajes frescos ⁶

Es cualquier planta natural o cultivada, reproducida sobre la superficie del suelo y que el ganado las aprovecha para alimentarse mientras este circula o ambula sobre ellas. Por cuanto dichas especies deben tener las características de una buena capacidad de rebrote debido a que constantemente es pisoteado por el ganado y este tiende a destruirlos con las filosas pezuñas, son biomasas forrajeras donde pastorea el ganado, puede ser natural; (ejemplo: los ecosistemas de sabanas del Caribe nicaragüense) o establecidos (potreros con distintos tipos de pastos de porte bajo).

– Forrajes secos y fibrosos⁶

Los cultivos forrajeros son especies que se establecen con el objetivo de alimentar al ganado, los granos de algunos de estas especies pueden ser utilizados para el consumo del ser humano

(ejemplo: el sorgo, maíz, caña de azúcar; entre otros) pero la mayoría de estas variedades se establecen exclusivamente para alimentar al ganado, son gramíneas o leguminosas cosechadas para ser suministradas como alimento a los animales, sea verde, seco o procesado (heno, ensilaje, rastrojo, sacharina, amonificación).

3.2 Generalidades sobre las gramíneas ^{6,9}

Esta familia presenta un gran número de especies (más de 6000), que se adaptan a diversas condiciones de climáticas y de suelo. Las más conocidas y usadas son: Trigo, Maíz, Avena, y Sorgo. También se les llama monocotiledones por poseer sólo un cotiledón.

3.2.1 Morfología de las gramíneas

Una gramínea se desarrolla, en general, en forma de mata y está compuesta por un conjunto de unidades o elementos más simples: el vástago principal y los hijuelos, Los hijuelos pueden considerarse unidades biológicas autónomas, aunque no sean totalmente independientes. Un hijuelo en estado vegetativo está formado por varias hojas, sin que se muestre el tallo, porque se encuentra contraído. Cuando éste se desarrolla, las hojas se disponen dísticamente a lo largo del mismo y aparece una inflorescencia en su extremo superior.

– Sistema radical:

La raíz de las gramíneas es fasciculada y en general, se considera poco profunda. Sus raíces son fibrosas, presentan una raíz primaria que persiste corto tiempo después de la germinación; luego aparecen raíces secundarias que se diferencian a partir de tejido meristemático ubicado en los nudos del tallo en formación.

– Tallos:

La estructura del tallo es prácticamente uniforme: entrenudos largos y estrechos y nudos algo más engrosados. Cuando la planta está madura, los entrenudos pueden ser huecos (cebada, avena, algunos trigos) o llenos (trigo duro, maíz, sorgo), mientras que los nudos permanecen siempre compactos.

– **Hojas:**

Las hojas emergen de los nudos, distribuyéndose en forma alternada a lo largo de los tallos. En esta familia la hoja se compone de la vaina y el limbo, la vaina es la parte inferior, que abraza el tallo y que sirve de protección a la yema basal. En general se puede decir que las hojas de las gramíneas se caracterizan por ser planas, angostas, sésiles, con nervadura vascular lineal y paralela y de forma variada.

– **Inflorescencia:**

El aparato reproductor de una gramínea forma, en su conjunto, la inflorescencia, cuya unidad morfológica básica es la espiguilla (Ver Figura N° 2.), una espiguilla está formada por una o más flores reunidas en espiga, es decir, unidas directamente a su eje, y protegidas por dos brácteas, las glumas. En algunas especies, las glumas son importantes y cubren a la totalidad de las flores de la espiguilla.

La floración de las gramíneas se realiza a través de las espiguillas que son flores sin pétalos y ocultas. Al brotar la espiga verde es cuando se realiza y madura la flor.

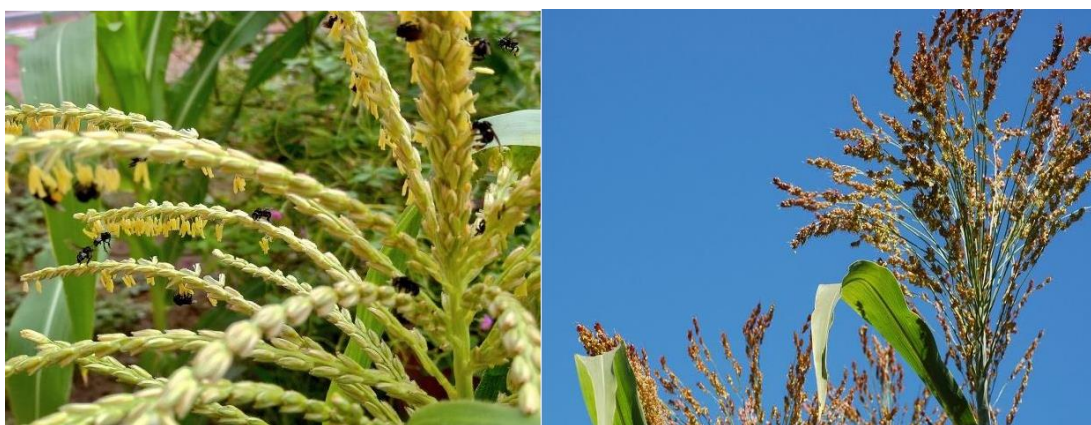


Figura N°2. Tipos de espiguilla de gramíneas

Fuente: Elaboración propia

– **Semilla:**

La semilla (grano o cariopsis) es en realidad es un fruto. Posee sólo un cotiledón llamado escudete, lo que le confiere la característica de monocotiledónea. El escudete participa en la nutrición inicial del embrión. El cotiledón está rodeado por el pericarpio que lo protege. La mayor parte de la semilla

está constituida por el endospermo, compuesto por células de almidón, el cual está rodeado por una capa de células llamada aleurona.

3.3 Generalidades sobre *Sorghum bicolor*¹⁰

3.3.1 Clasificación científica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden : Cyperales

Familia: Poaceae / Gramineae

Género: Sorghum

Especie: bicolor



Figura N°3. Floración de espiga y formación de grano de *Sorghum bicolor* L.

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Origen ^{10, 11}

Se plantea que el origen de este cultivo procede del noreste de África, específicamente en la región poblada por Etiopía, aunque inicialmente se ubicó en la India. Su introducción en América fue en el siglo XVIII, y se considera que muchas especies distintas se cultivan esporádicamente en países de América, siendo los sorgos actuales especies híbridas de esas introducciones u otras formas que han aparecido con el paso del tiempo (pastos y forrajes). Este cultivo llegó a Centroamérica a través de la India, China y Estados Unidos.

El sorgo en El Salvador es conocido como maicillo, y es el segundo grano en volumen producido después del maíz blanco.

El sorgo es un cultivo que en algunas regiones del mundo está sustituyendo al cultivo de maíz por su resistencia a enfermedades, además de la poca demanda de agua que requiere, convirtiéndolo en una alternativa ante el cambio climático.

La importancia de este cultivo ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a su utilización en la alimentación humana; en la industria de panificación, la harina de sorgo está tomando auge ya que se ha comprobado que puede sustituir hasta en un 50% a la de trigo en las mezclas para la elaboración de pan, sin afectar la calidad de éste. Otro uso de mucha importancia es en la alimentación animal, ya sea en forma de ensilaje o corte fresco. También el grano es utilizado para la fabricación de alimentos como los concentrados, para los sectores avícolas, porcina y bovina.

Por el régimen de lluvia imperante en El Salvador se pueden alcanzar dos cosechas en el año, la primera siembra en el mes de mayo o cuando la época lluviosa se haya establecido, la cual se destina para el ensilaje y se maneja el rebrote para obtener grano al final del año. La segunda siembra se hace a mediados o finales del mes de agosto, esto para que el grano no sea manchado por la lluvia.

3.3.3 Descripción botánica ¹⁰

El sorgo posee un sistema radical adventicio fibroso, donde la profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 metros. Es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros dependiendo de la variedad y ambiente y su longitud varía de 0.5 a 4 metros. Las hojas son alternas

y lanceoladas o linear-lanceoladas con una superficie lisa y cerosa, son erectas y hasta casi horizontales que se encorvan con la edad. Posee una panícula de racimo con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, es corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semicompacta. Puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 800 granos, según el tipo de panícula. El grano del sorgo tiene un color blanco traslúcido hasta un pardo rojizo muy oscuro, con graduaciones de rosado, rojo, amarillo, pardo y colores intermedios; sus semillas son esféricas y oblongas, de aproximadamente 3 mm de tamaño.

3.3.4 Requerimientos edafoclimáticos ⁷

El sorgo responde muy bien a una diversidad de suelos aún con características adversas de fertilidad, textura, pendiente, pedregosidad y pH de 5.5 a 7.8; sin embargo, es bastante susceptible a deficiencias de hierro, zinc y manganeso, especialmente en suelos vertisoles con altos niveles de carbonato de calcio. Se puede cultivar desde 0 a 1000 msnm, sin embargo, las mejores producciones se obtienen en zonas comprendidas de 0 a 500 msnm. El sorgo, dependiendo de su condición fisiológica, puede ser fotosensitivo o fotoinsensitivo, refiriéndose a la cantidad de horas luz que el cultivo demanda para su desarrollo y floración. Generalmente el sorgo requiere de 550 mm de agua en todo el ciclo de cultivo y bien distribuidos para su óptima producción. Por su origen tropical, el sorgo se adapta bien a temperaturas que oscilan entre los 20 y 40 °C.

3.4 El sorgo como forraje ¹⁰

Los sorgos forrajeros se usan comúnmente en la etapa vegetativa para satisfacer las necesidades de producción de forraje durante el verano a través de pastoreo directo o en sistemas de corte y acarreo. Desde el punto de vista de la definición, los sorgos forrajeros incluyen sorgo.

El sorgo tiene el mayor potencial para producir grandes cantidades de forraje nutritivo, y su versatilidad inherente les permite adaptarse a muchos tipos diferentes de cultivos y operaciones de ganado. El sorgo forrajero ha alcanzado un lugar central entre los forrajes de verano porque tiene muchos beneficios y ventajas:

- Tiene la capacidad de tolerar las toxicidades del suelo mucho mejor que otros cultivos.
- Prospera bien en suelos moderadamente salinos y sódicos.

- Continúa creciendo bien incluso después del estrés por sequía de bajo a moderado debido a una mejor eficiencia en el uso del agua y adaptaciones resistentes a la sequía.

El sorgo forrajero ha demostrado ser más económico que otros forrajes de cereales debido a la menor cantidad de requisitos de riego y fertilizantes. En una temporada corta en forraje que alcanza su plena floración en 52 a 60 días después de la siembra, si se cosecha en 50% de floración o etapa de partida, tiene el potencial de dar un rendimiento de forraje razonablemente alto.

El sorgo forrajero tiene la capacidad de proporcionar un buen rendimiento de materia seca incluso en situaciones agrícolas de baja fertilidad. La calidad del forraje de sorgo es similar al maíz, pero el maíz requiere más humedad que sorgo por lo tanto es menos preferido como cultivo forrajero. Además de la ventaja de una fecha de siembra posterior, los sorgos forrajeros tienen la capacidad de mantener altos rendimientos bajo condiciones de estrés hídrico y reanudación del crecimiento después de la sequía.

3.5 Generalidades de los taninos ^{7,12}

Existen tres clases de metabolitos secundarios en las plantas: compuestos nitrogenados, terpenoides y fenólicos, los taninos corresponde a la clase de fenoles. Y todos los compuestos fenólicos de una u otra forma se sintetizan por la vía del ácido shiquímico conocido como la fenilpropanoide. Las mismas vías conducen a la formación de otros compuestos fenólicos como isoflavonas, cumarinas, ligninas, aminoácidos aromáticos (triptófano, fenilalanina y tirosina).

Los taninos son compuestos polifenólicos de las plantas, su característica principal es la de bloquear y precipitar las proteínas influyendo sobre el valor nutricional de muchos alimentos consumidos por humanos o animales. Se encuentran comúnmente en frutas, te, chocolate, leguminosas, forrajes y pastos.

La palabra tanino se refiere a una tecnología tradicional utilizada para describir el proceso de transformar pieles de animales en cueros mediante el uso de extractos de plantas utilizando diferentes partes y diferentes especies. Las plantas desarrollan este tipo de compuestos como mecanismos de defensa contra predadores y patógenos. Algunos autores definen los taninos como compuestos fenólicos de alto peso molecular que contienen suficientes hidroxilos y otros grupos (como los carboxilos) que les permiten formar complejos fuertes con proteínas y otras macromoléculas bajo particulares condiciones ambientales estudiadas. Los taninos forman complejos con proteínas, almidones, celulosas y minerales.

Los taninos se encuentran localizados en las vacuolas o superficies serosas de las plantas, en estos sitios no interfieren con el mecanismo de las plantas solo después de que la célula se rompe y muere ellos pueden tener sus efectos metabólicos. En la semilla, se localizan principalmente en la capa del integumento externo y la aleurona. Estos están asociados con el efecto de dominio de la semilla, tiene efectos bactericidas y alelopáticos.

Las dos categorías de taninos principales que inciden en la nutrición animal son los taninos hidrolizables (TH) y los taninos condensados identificados más correctamente como proantocianidinas (Pas) los cuales son resistentes a la degradación hidrolítica. Los taninos se han asociado con una digestibilidad y una ingesta reducidas, ya que reducen la digestibilidad de las proteínas, en el rumen. El contenido de taninos varía entre los órganos de una planta y según su estado vegetativo, encontrándose algunos que se sintetizan continuamente en hojas jóvenes y en la semilla en desarrollo, durante el llenado temprano del grano.

3.5.1 Características de los taninos ¹²

Los taninos están constituidos por un amplio grupo de compuestos hidrosolubles con estructura polifenólica. Capaces de precipitar ciertas macromoléculas (proteínas, celulosa, alcaloides y gelatina). Esta capacidad para precipitar es la base de sus propiedades principales: su capacidad de curtir la piel y su poder astringente. Tales propiedades condicionan su uso.

- *Curtido de la piel:* los taninos se intercalan entre las fibras de colágeno, estableciendo uniones reversibles (interacciones hidrófobas, enlaces de hidrogeno, etc.) e irreversibles (enlaces covalentes). Dichas fibras adquieren así una gran resistencia frente al agua y el color de la piel se convierte en cuero.
- *Precipitación de otras macromoléculas:* los taninos son capaces de reaccionar con las proteínas salivares y las glucoproteínas de la boca, por lo que la saliva pierde su poder lubricante y se tiene un efecto astringente.

Para que una estructura polifenólica se pueda considerar tanino, es decir, para que pueda presentar las características que se han indicado, debe tener un peso molecular comprendido entre 500 y 3000 Daltons (aproximadamente). Por debajo o por encima de estos valores, la estructura no se intercala entre las macromoléculas o, si lo hace, no forma estructuras estables.

3.5.2 Propiedades fisicoquímicas de los taninos ¹²

Los taninos constituyen un grupo muy amplio de sustancias que, no obstante, poseen una serie de propiedades químicas más o menos comunes:

- Forman sólidos amorfos
- Son solubles en agua (forman soluciones coloidales) y en disolventes orgánicos polares (acetona, alcohol, glicerina) pero son insolubles en disolventes orgánicos apolares (éter etílico, cloroformo).
- Capacidad de precipitar: Con agua de cal (solución de hidróxido de calcio), con agua de barita (solución de hidróxido de bario), con wolframato o molibdato amónico, con alcaloides, proteínas, celulosa y otras macromoléculas.
- Capacidad de formar complejos: (Son agentes quelantes) con metales pesados (cobre, mercurio, plomo, estaño, cinc, entre otras). Por esta razón en ocasiones se utilizan como antídoto en intoxicaciones causadas por estos metales pesados.
- Se oxidan con facilidad, sobre todo en medio ácido y pueden actuar como reductores de ciertos compuestos (ácido fosfowolfrámico, ácido fofomolibdénico, ferricianuro férrico).
- Son moderadamente estables. Los taninos hidrolizables se hidrolizan fácilmente en medio ácido mientras que los taninos condensados son más resistentes a hidrolizarse. No obstante, algunos de sus enlaces pueden romperse y polimerizan dando productos de intenso color rojo.

3.5.3 Clasificación de los taninos ¹²

Los taninos se dividen en dos grandes grupos: 1) Taninos hidrolizables y 2) Taninos condensados (también denominados taninos catequicos o proantocianidinas).

- **Taninos hidrolizables (TH):** Son ésteres formados por una molécula de azúcar (generalmente la glucosa) unida a un número variable de moléculas de ácidos fenólicos (ácido gálico o su dímero el ácido elágico) (Ver Figura N° 4). Los taninos hidrolizables son característicos de dicotiledóneas. Se hidrolizan tanto por hidrólisis ácida o básica como por hidrólisis enzimática. Por destilación seca producen pirogalol (1, 2,3- trihidroxibenceno) (Ver Figura N° 5). Al tratar los taninos hidrolizables con cloruro férrico aparece una coloración azul.

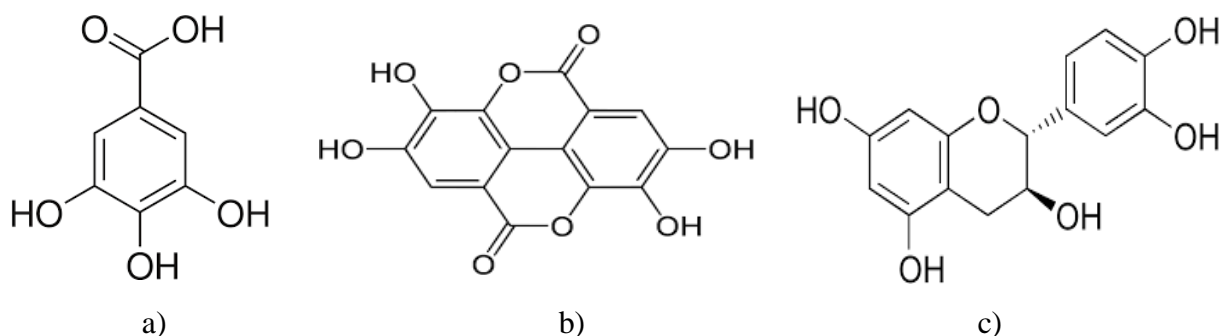


Figura N°4. Unidades básicas de estructura química de los taninos: a) Ácido gálico, b) Ácido elágico, c) Catequina¹².

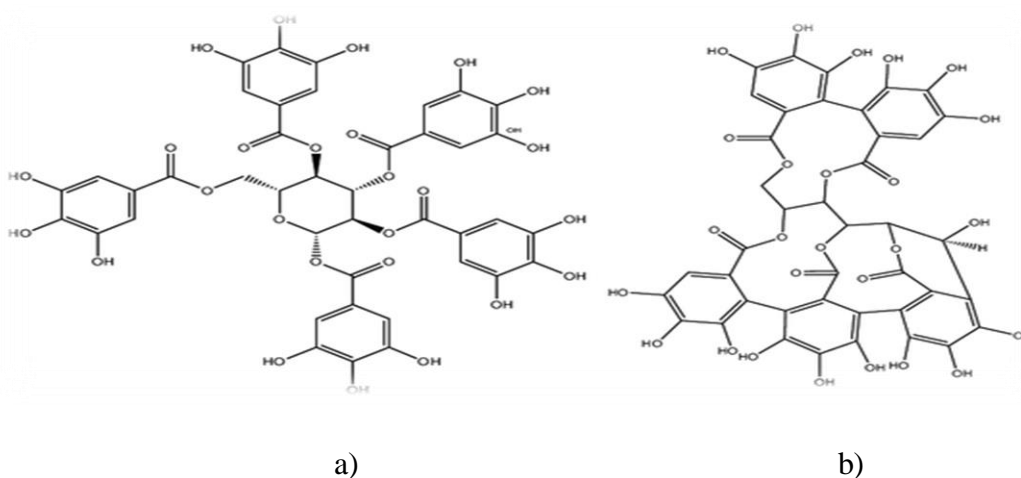


Figura N°5. Ejemplo de estructura química de taninos hidrolizables: a) Pentagaloil glucosa y b) Vescalagina¹².

- **Taninos condensados (catéquicos o proantocianidinas):** son dímeros o polímeros flavánicos con uniones carbono-carbono entre diferentes unidades de flavan 3-ol. Se forman por polimerización de las catequinas y leucoantocianos. Además de encontrarse en dicotiledóneas se producen también en helechos y gimnospermas. Son muy resistentes a la hidrólisis. Solo resultan afectadas por la hidrólisis ácida o enzimática (que rompen ciertos enlaces) y se convierten en antocianidinas, los cuales pueden polimerizar para formar flobafenos insolubles (color rojo intenso) (Ver Figura N° 6)

Por destilación seca producen catecol (1, 2- dihidroxibenceno). Por este motivo, reciben también el nombre de taninos catéquicos. Al tratar los taninos condensados con cloruro férrico aparece una coloración verde.

3.6 Usos de los taninos ¹²

La propiedad que tienen los taninos de precipitar proteínas se utiliza en el proceso por la cual la piel de los animales se convierte en cuero. No solo afecta la flexibilidad, resistencia e impermeabilidad del cuero, sino que lo preserva debido a sus propiedades antisépticas. Los intensos colores que dan con sales de hierro hacen que se utilicen para fabricar tintas en escala comercial.

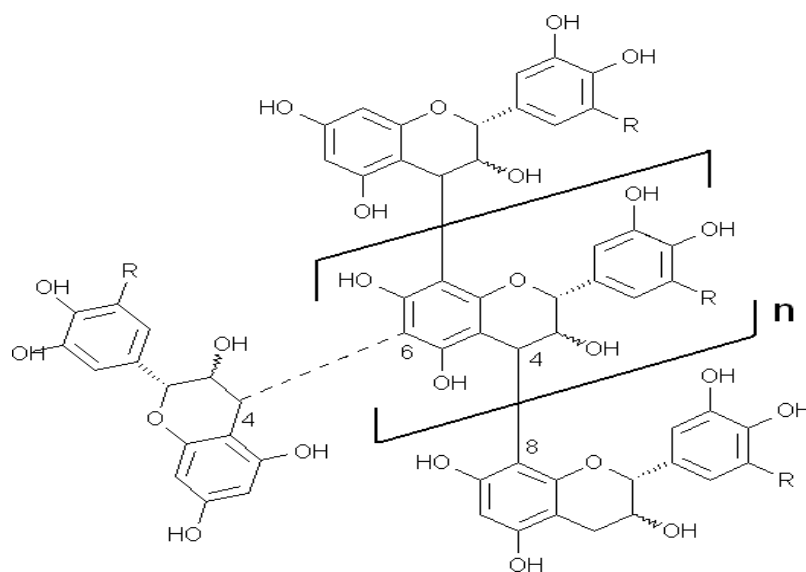


Figura N°6. Polímeros de Taninos condensados¹².

La precipitación de los alcaloides por los taninos se usa en toxicología como antídoto en el envenenamiento por alcaloides, pues inactivan a los mismos por formar compuestos insolubles.

Los taninos son usados en medicina a causa de sus propiedades astringentes, las cuales se deben a que los taninos reaccionan con las proteínas constituyentes de la piel y mucosas, lo que se les reconoce por la sensación de sequedad y aspereza que provocan en contacto con la mucosa bucal. Cuando bajas concentraciones de taninos se aplican sobre la mucosa, únicamente la parte externa es afectada por estos, se pone menos permeable y aumenta la protección de las capas profundas contra la infección bacteriana, irritación química y mecánica. Los pequeños vasos se contraen y debido a su empobrecimiento del tejido en sangre, son usados en inflamaciones de la mucosa, catarro, pequeñas heridas. Altas concentraciones de taninos pueden producir irritaciones. Las propiedades antisépticas son debidas a que, a altas concentraciones, producen coagulación del protoplasma de los microorganismos. La preparación del tanino puro es extremadamente difícil

debido a las numerosas sustancias que lo acompañan en los vegetales y a la facilidad con que se modifican por polimerización, oxidación e hidrólisis en el curso de las operaciones de extracción.

En el vegetal, se les atribuyen función de protección, dado el alto poder antiséptico para prevenir germinación de hongos y crecimiento de parásitos.

3.7 Efectos de los taninos sobre otras moléculas ⁸

Los taninos también forman complejos con otras macromoléculas. Presentándose disminución de la digestibilidad de celulosa, hemicelulosa, almidones y materia seca. Los almidones forman complejos catequinas – almidón lo cual impide la utilización de las moléculas de almidón por parte de los organismos. Los almidones y la celulosa forman complejos con los taninos (especialmente con los taninos condensados).

3.7.1 Interacción química de taninos con proteínas ^{8,13}

La principal característica de los taninos es que pueden ligarse a las proteínas. Históricamente se creyó que los taninos ligaban y precipitaban todas las proteínas de manera no específica, pero ahora se reconoció que las interacciones tanino-proteína son específicas y dependen de la estructura de la proteína y del tanino.

Esta interacción específica depende, en primer término, de la naturaleza química de ambos componentes, resultando ser determinantes no solo las estructuras químicas primarias (presencia de grupos reactivos) sino también otras características moleculares como el tamaño y estructura secundaria o tridimensional, las cuales pueden resultar factores decisivos en la formación de los complejos con la proteína.

En cuanto a la alimentación animal se refiere, los taninos son interesantes en alimentación de rumiantes porque reaccionan con las proteínas formando el complejo tanino-proteína. La formación de complejos tanino-proteína tiene lugar en el rumen a un pH de 5.5-7.2, lo que convierte a las proteínas en indigestibles para la población ruminal, que sólo llegan a ser solubles en el pH del abomaso (< 3.5) y del intestino delgado, por lo que se liberan para la digestión y absorción por parte del animal. Los taninos condensados se caracterizan porque se unen a la proteína por puentes de hidrógeno. Esta unión va a resultar fuerte a nivel del abomaso, por lo que podríamos hablar de los taninos condensados como un factor antinutricional, ya que aumentan la cantidad de proteína

excretada por las heces. Los taninos hidrolizados se unen a la proteína por interacciones hidrofóbicas, que van a resultar más débiles a nivel abomasal y van a aumentar la cantidad de proteína sobrepasante digestible a nivel intestinal, lo que mejoraría el balance de nitrógeno, ya que una menor cantidad de nitrógeno sería excretado por las heces. La presencia de iones inorgánicos como el calcio, el magnesio, el sodio y el potasio en el tracto digestivo, aumenta la formación de complejos insolubles tanino-proteína. El ácido tánico usado en productos comerciales no tiene el mismo efecto que los galotaninos presentes en forrajes naturales. Este ácido tiene un peso molecular más bajo e interactúa más débilmente con la proteína dietaria, por lo que es más fácil el desdoblamiento enzimático intestinal. De la propiedad de unión a la proteína podríamos plantear distintas situaciones beneficiosas para la producción:

- Aumento de proteína sobrepasante.
- Aumento de proteína en la leche de vaca (1-2 décimas de punto de proteína en leche).
- Disminución de meteorismo en animales de cebo, ya que disminuye la cantidad de proteína soluble en el rumen.
- Descenso de producción de amonio en el rumen.
- Algunos productos basados en taninos se plantean como conservantes de ensilados proteicos, ya que al unirse a la proteína retarda su degradación y el aumento de pH de los ensilados.

3.7.2 Interacción química de taninos con carbohidratos ⁸

Cuando los taninos condensados se polimerizan forman complejos con los polisacáridos; las características de tener baja solubilidad en agua, alto peso molecular y flexibilidad conformacional juegan un papel importante en la estabilidad de la interacción tanino-carbohidrato. En el almidón y la celulosa se reportan enlaces hidrofóbicos y de hidrógeno.

Las interacciones tanino-almidón muestran diferentes grados de unión en comparación con la interacción tanino-celulosa. El almidón tiene la habilidad de formar huecos hidrofóbicos que permiten la formación de complejos con los taninos, mientras que la celulosa tiene una superficie directa de interacción con los taninos. La interacción tanino-almidón es específica para los polisacáridos.

3.8 Uso de taninos en nutrición animal ¹⁴

3.8.1 Protección de suplementos proteicos frente a la degradación rumial ¹⁴

Actualmente, una de las metas fundamentales de la nutrición proteica de los rumiantes es tratar de optimizar la utilización de la proteína de la dieta para maximizar el crecimiento del animal y la producción de leche por unidad de proteína consumida. Esto implica, por su parte suministrar una cantidad adecuada de proteína degradable en el rumen (PDR) para maximizar el desarrollo de la población microbiana rumial y la degradación de la materia orgánica, y por otra, suministrar la cantidad necesaria de proteína no degradable en el rumen (PNDR) que complemente a la proteína microbiana sintetizada en el rumen para proporcionar la relación más conveniente de energía/proteína.

Parece claro que la situación actual (niveles cada vez más altos de producción de leche y carne, preocupación acerca de la pérdida de N y consiguiente contaminación del medio, etc.) está obligando a una mayor precisión en la formulación de las raciones para rumiantes. Como es sabido, los animales de alta producción necesitan un aporte elevado de PNDR, al resultar la proteína microbiana sintetizada en el rumen claramente insuficiente para cubrir sus necesidades proteicas. Hasta hace unos años, los suplementos proteicos utilizados en alimentación animal podrían ser tanto de origen animal como vegetal. Actualmente, sin embargo, los de origen animal están prohibidos, básicamente por su relación con el problema de la encefalopatía espongiforme bovina (mal de las vacas locas), y solo existe la posibilidad de utilizar los de origen vegetal, que se caracterizan por una mayor degradabilidad rumial, lo que supone, en general, una menor eficiencia de utilización de la proteína de la dieta.

3.8.2 Principales métodos utilizados para la protección de los suplementos proteicos ¹⁴

Los principales tratamientos utilizados para proteger la proteína de la dieta frente a la degradación rumial se pueden concentrar en dos grandes grupos: físicos y químicos.

Entre los físicos, el calor es el procedimiento más comúnmente utilizado y su efecto puede ser beneficioso o contraproducente dependiendo de las temperaturas y tiempos empleados. El calor actúa sobre la proteína desnaturalizándola, lo que produce cambios en su estructura que la hacen menos sensible a las enzimas microbianas y también menos solubles. Tratamientos demasiado

largos o un exceso de temperatura pueden reducir la digestibilidad post-rumial de la proteína o la disponibilidad de algunos aminoácidos, dando lugar a las denominadas “proteínas sobreprotegidas”.

En cuanto a los métodos químicos, estos se basan en la adición de diversas sustancias, tales como: aldehídos, como el formaldehído, azúcares reductores, como la dextrosa, álcalis como el hidróxido de sodio, ácidos como el acético y los lignosulfitos, alcoholes como el etanol, el propanol y el isopropanol o taninos, que se unen a la proteína alimentaria y la protegen, de esta forma, frente a la degradación rumial. Estas uniones son dependientes del pH, de modo que resultan estables en un rango de pH entre 3,5 y 8, como es el caso del rumen, y se rompen posteriormente a un pH más bajos, como es el del abomaso, o más altos, como el del duodeno.

3.8.3 Empleo de taninos ¹⁴

Un método químico de protección de la proteína frente a la degradación rumial es mediante el uso de taninos. Durante mucho tiempo, los taninos se consideraron únicamente como “factores antinutritivos”, es decir, con efectos necesariamente negativos en la nutrición de los herbívoros. Sin embargo, los trabajos más recientes ponen de manifiesto la existencia de efectos positivos, tales como la posibilidad de su empleo para reducir la degradación rumial de la proteína de la dieta y aumentar así el aporte de aminoácidos susceptibles de ser absorbidos en el intestino.

Esto se fundamenta en la elevada afinidad de los taninos por las proteínas, ya que la molécula de tanino presenta un gran número de grupos fenólicos que proveen numerosos puntos para la formación de enlaces, mediante puentes de hidrógeno, con los grupos carboxilo de los péptidos.

Las uniones tanino-proteína suceden de modo general en los tratamientos químicos, dependientes del pH. Tanto los taninos hidrolizables como los condensados forman complejos tanino-proteína que resultan estables en rangos de pH comprendidos entre aproximadamente 3,5 y 8,0. Estos complejos, estables por tanto a pH rumial, se disocian posteriormente debido al pH del abomaso (2,5 – 3,0) y del duodeno (aproximadamente 8) (Ver Figura N° 7). El nivel de afinidad entre los taninos y las proteínas es variable y depende fundamentalmente de su peso molecular y del grado de polimerización.

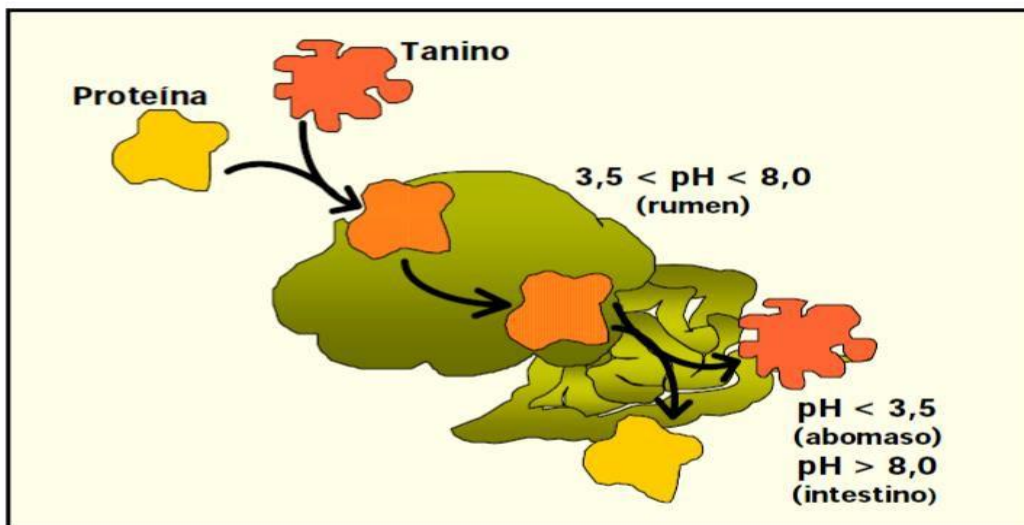


Figura N°7. Comportamiento dependiente del pH de los complejos tanino proteína ¹⁵.

Los principales mecanismos que explican la reducción de la degradación rumial debida al efecto de los taninos son la interferencia de estos compuestos con los microorganismos del rumen (ya que la adhesión microbiana a los alimentos es esencial para el desarrollo de la compleja población microbiana que se requiere para la fermentación rumial) y la inhibición que pueden causar en la actividad enzimática y el crecimiento de muchas cepas de bacterias rumiales.

3.9 Variedades de sorgo con taninos ¹¹

3.9.1 Sorgo bmr ¹¹

En el año 2005, se inició el proceso de generación de nuevas variedades de sorgo “bmr” (Brown Mid Rib) incorporándole genes de vena café a las principales variedades comerciales en El Salvador (Ver Figura N° 8). El gen “bmr” es el responsable de disminuir la lignina (fibra) en la planta de sorgo. El Salvador es el primer país en Latinoamérica en formar y generar variedades que poseen dicho gen. Este trabajo fue realizado en el CENTA con la colaboración del INTSORMIL, quien a través de la Universidad de Texas &M facilitó las líneas donantes del gen bmr.

Luego de todas las pruebas de investigación realizadas y considerando las buenas opiniones de los ganaderos de distintas zonas de nuestro país, en el año 2011 se liberó la primera variedad forrajera de sorgo bmr (CENTA S-2 bmr), mientras que en el 2012 se liberan 2 nuevas variedades forrajeras (CENTA S-3 bmr y CENTA S-4 bmr).



Figura N°8. Hoja de sorgo bmr con su vena color café¹¹.

3.9.2 Variedad de sorgo color rojo con tanino ¹¹

El interés en generar este tipo de sorgo ha sido incrementar la calidad nutricional al momento de ensilarlo y ofrecerlo al ganado para la producción de leche. Por tal razón en el año 2016, el CENTA liberó la variedad CENTA – CF, la cual es la primera de este tipo en El Salvador. Este material tiene las características de que posee el grano de color rojo, dando un sabor astringente (amargo), situación que lo hace menos apetecible y atractivo para ser consumido por los pájaros. Bajo esta condición la materia prima utilizada para el ensilaje dispondrá de mayor cantidad de grano, mejorando la fermentación y proporcionando la cantidad necesaria de almidones que se transforman en carbohidratos, ayudando a mejorar la calidad de la dieta alimenticia del ganado y por ende incrementando la producción de leche.

3.9.3 Localización de los taninos en la planta ^{12, 16}

La acumulación de taninos puede verificarse en cualquier tipo de tejido de la planta y en función de su ubicación es que se clasifica su actividad:

- A nivel de las raíces: se encuentran principalmente en la hipodermis, debajo del estrato epidérmico suberizado donde actúan como protectores contra patógenos.
- En los troncos: los encontramos en particular en los sitios de crecimiento activo, como el floema secundario y el xilema y en el estrato comprendido entre la corteza y la epidermis, donde regulan el crecimiento de estos tejidos.

- Dentro de las semillas: se encuentran en un estrato comprendido entre el tegumento externo y el estrato de aleurón donde contribuyen al mantenimiento de la inactividad.
- En los frutos y en las hojas: confieren un sabor astringente, reduciendo la apetitibilidad y representando así una defensa natural contra herbívoros.
- Otras funciones se refieren al importante rol que tienen en la fisiología y en el desarrollo de las semillas, en la activación de los genes de nodulación, que favorecen la fijación del nitrógeno en las plantas y en la atracción de los insectos polinizadores.

Los taninos están localizados en las vacuolas o superficies serosas de las plantas, en estos sitios no interfieren con el metabolismo de las plantas solo después de que la célula se rompe y muere ellos pueden tener sus efectos metabólicos. En la semilla se localizan principalmente en la capa del tegumento externo y la aleurona estos están asociados con el efecto de dormancia de la semilla, tiene efectos bactericidas y alelopáticos.

3.9.4 Desarrollo de variedades e híbridos de sorgo (bmr) y taninos en el grano 2017 ¹⁷

La investigación se desarrolló en la Estación Experimental de Santa Cruz Portillo, durante el año 2017 fueron evaluadas siete actividades, todas en parcelas sin diseño estadístico. El estudio inicio en enero con el establecimiento de 29 líneas uniformes de sorgos precoces para grano, cuyo objetivo fue hacer incremento de los materiales y retro-cruzamiento con los progenitores. En mayo, en instalaciones del CEDAF MORAZAN se estableció una parcela con 31 líneas de sorgos graníferos y forrajeros, con el objetivo de conocer la aclimatación de las nuevas líneas a condiciones climáticas adversas dentro del corredor seco, al final de la investigación se identificaron nueve líneas de grano y siete de forraje.

Para la época de mayo se establecieron en parcelas de observación 114 líneas uniformes provenientes de la tropicalización de sorgos sudanes precoces, el objetivo fue de identificar líneas forrajeras para corte con características de variedades, las cuales fueron evaluadas hasta final del año 2017 con el objetivo de hacer conteo de cortes realizados. Producto de esta investigación se identificaron 56 líneas multicortes con potencial forrajero. En la misma época fueron evaluadas dos actividades con sorgos de finalidad forrajera, en la cual se establecieron parcelas en forma separada de 25 líneas de sorgos forrajeros Cowly bmr y 22 líneas de sorgos bmr con taninos; se evaluaron

hasta final de año con el objeto de conocer el potencial de rebrote que tienen estos sorgos, al finalizar el estudio fueron seleccionadas cinco líneas bmr con taninos y ocho líneas de sorgo dulce bmr.

La investigación fue desarrollada en la estación experimental de Santa Cruz Porrillo en tres épocas del año 2017, La ubicación del estudio fue en el Cantón Santa Cruz Porrillo, municipio de Tecoluca, San Vicente, a 30 m.s.n.m., latitud de 13° 26'4" N y longitud 88° 41'08" W. Se realizó el manejo agronómico tal como lo indica la guía técnica del cultivo de sorgo (CENTA 2014) Las actividades desarrolladas en esta investigación son las siguientes:

Líneas uniformes de sorgo bmr con taninos

Esta actividad fue realizada en mayo, mediante el establecimiento de un vivero sin diseño estadístico de 22 líneas de sorgo rojo con finalidad forrajera, después del primer corte se manejó el rebrote. La siembra del vivero consistió en evaluar 22 líneas de sorgo bmr con taninos, estas fueron comparadas con el CENTA S-3 bmr, fueron sembradas cuatro líneas bmr rojas en forma continua; cada una con dos surcos de cinco metros de largo, luego cuatro surcos del sorgo comparador hasta completar la cantidad de líneas a evaluar. Cabe mencionar que al inicio y al final fueron sembrados cuatro surcos de la variedad CENTA S-3 bmr. Los principales datos a tomar fueron: sabor del grano, vigor y tolerancia a plagas y enfermedades, rendimiento de biomasa (tha-1) y vigor de rebrote.

Tabla N°1. Líneas promisorias de sorgo forrajero bmr con taninos y abreviaturas¹⁷.

N°	CÓDIGO	GENEALOGÍA
1	CSV 01587bmrT	CI 0968* ICSV-LM-90509-bk-3-2-1-1-1
2	CSV 01588bmrT	CI 0968* ICSV-LM-90509-bk-3-2-1-3-1
3	CSV 01589bmrT	CI 0968* ICSV-LM-90509-bk-4-1-4-1-1
4	CSV 01590bmrT	CI 0968* ICSV-LM-90509-bk-4-1-4-1-2
5	CSV 01591bmrT	CI 0972* ICSV-LM-90509 bk-10-1-1-2-2
6	CSV 01592bmrT	CI 0936* ICSV-LM-90509 bk-13-2-5-2-1
7	CSV 01593bmrT	CI 0936* ICSV-LM-90509 bk-18-5-4-4-1
8	CSV 01594bmrT	CI 0936* ICSV-LM-90509 bk-18-5-4-4-2
9	CSV 01595bmrT	CI 0943* ICSV-LM-90509 bk-2-2-1-3-1
10	CSV 01596bmrT	CI 0943* ICSV-LM-90509 bk-2-2-1-3-2
11	CSV 01597bmrT	CI 0943* ICSV-LM-90509 bk-2-2-1-3-3
12	CSV 01598bmrT	CI 0943* ICSV-LM-90509 bk-2-2-2-1-3
13	CSV 01599bmrT	CI 0943* ICSV-LM-90509 bk-2-2-3-1-1
14	CSV 015100bmrT	CI 0943* ICSV-LM-90509 bk-2-2-3-1-4
15	CSV 015101bmrT	CI 0943* ICSV-LM-90509 bk-3-1-1-1-1
16	CSV 015102bmrT	CI 0947* ICSV-LM-90509 bk-4-1-1-1-1
17	CSV 015103bmrT	CI 0947* ICSV-LM-90509 bk-4-1-1-2-1
18	CSV 015104bmrT	CI 0947* ICSV-LM-90509 bk-4-1-1-2-3
19	CSV 015105bmrT	CI 0947* ICSV-LM-90509 bk-10-5-1-4-1
20	CSV 015106bmrT	CI 0947* ICSV-LM-90509 bk-10-5-1-4-2
21	CSV 015107bmrT	CI 0973* ICSV-LM-90509 bk-8-1-2-4-2

ABREVIATURAS: C: CENTA; SV: EL SALVADOR 15: Año de generación; 87, 88.: correlativo de cada línea

De los 21 tratamientos evaluados, se puede mencionar que únicamente fueron seleccionados cinco de ellos (CSV 01588bmrT, CSV 01591bmrT, CSV 01592bmrT, CSV015104bmrT) los cuales mostraron rendimientos arriba de la media del testigo, pero lo que más fortalece la selección es el valor de rebrote, el cual su valoración indica que se puede catalogar como bueno en capacidad de rebrote

3.10 Métodos de cuantificación ^{8, 17, 18}

3.10.1 Cuantificación de fenoles totales

Entre las mediciones realizadas en estudios de química ecológica, la determinación del contenido total de compuestos fenólicos ocupa un lugar preponderante. Las técnicas empleadas permiten cuantificar el contenido de hidroxilos fenólicos presentes en el material a analizar (extractos), independientemente de la naturaleza de cada componente presente. En la actualidad, la

cuantificación de los fenoles totales es llevada a cabo mediante la técnica: el método de Folin-Ciocalteu. El método se fundamenta en una reacción de óxido reducción. En el método de Folin-Ciocalteu, el ión fenolato es oxidado (en medio alcalino) mientras que el reactivo fosfotúngstico-molibdico es reducido, formando un complejo color azul (cromóforo).

3.10.2 Cuantificación de taninos condensados ^{8,17}

– Proantocianidinas

El método se basa en la despolimerización en medio ácido de los taninos condensados, como producto se origina las antocianidinas, compuestos coloreados que pueden ser cuantificados espectrofotométricamente. Se toman alícuotas de 0.50 mL del extracto y se transfieren a tubos de ensayo y se agregan 3.0 mL del reactivo butanol-HCl (butanol-HCl, 95:5 v/v) y 0.1 mL de reactivo férrico (2 % sulfato férrico-amónico en HCl 2 M). Mezclar y colocar los tubos en baño María a ebullición durante 60 min. Luego de enfriarlos, se miden las absorbancias a 550 nm contra un blanco. El contenido en proantocianidinas se expresa como densidad óptica (D.O.) a 550 nm.

3.11 Mejoramiento de semilla en El Salvador

El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” CENTA está ubicado en el kilómetro 33 ½ carretera a Santa Ana, ciudad Arce La Libertad. Es la entidad encargada de garantizar soluciones tecnológicas e innovadoras al sector pecuario, en razón de contribuir al mejoramiento de la situación ambiental del país, garantizando la seguridad alimentaria y nutricional de la población salvadoreña.

3.12 Estación experimental y de prácticas Centro Tecnológico de Agricultura y Ganadería (CETAG) ¹⁹

El CETAG es un Centro Tecnológico que promueve el desarrollo de la agricultura y la ganadería bajo un enfoque de desarrollo, usando los recursos locales para aumentar la productividad y producción de los agroecosistemas.

El Centro de Capacitación es una instancia de apoyo, encargada de planificar, programar, coordinar, promover, realizar y evaluar actividades de capacitación para personal directivo, profesional, técnico, comunidad estudiantil de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El

Salvador, productores agropecuarios y todas aquellas entidades cuya finalidad sea el desarrollo rural del país.

La estación experimental y de prácticas cuenta con un área de 143 Mz ubicado en la jurisdicción de San Luis Talpa, Departamento de La Paz la cual tiene instalaciones para la ganadería, agricultura y agroindustria. También cuenta con los recursos de abundante agua y sistemas de riego, maquinaria agrícola, aulas, cafetín, una planta procesadora para alimentos agropecuarios, fábricas de concentrados y toda una gama de herramientas agrícolas y pecuarias.

CAPITULO IV

4.0 DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo de estudio

- **Descriptivo:** Se recolectó la mayor cantidad de información bibliográfica (revisión de libros, revistas, artículos científicos, entre otros.), que permitió sustentar esta investigación y plantear una resolución al problema.
- **Transversal:** Se realizó la cuantificación de taninos totales por el método de Folin Ciocalteu modificado y los taninos condensados por el análisis de proantocianidinas (HCl-Butanol) en seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo) utilizados como patrón de semillas para el mejoramiento genético en el Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Los análisis se realizaron por triplicado en el Laboratorio de Investigación del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

4.2 Investigación bibliográfica

Se realizó la revisión en las siguientes fuentes:

- Biblioteca Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador
- Biblioteca Don Félix Choussy de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
- Internet (Revistas, artículos científicos, otros).

4.3 Investigación de campo

La investigación comenzó con la recolección de muestras en la Estación Experimental y de Prácticas, de la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad de El Salvador, ubicada a 50 msnm, con coordenadas geográficas 13°28'3" Latitud Norte, -89°05'8" Longitud Oeste, en el Cantón Tecualuya, Municipio de San Luis Talpa, Departamento de La Paz; (Ver Anexo N°1, Figura N°17). Las temperaturas se mantienen entre los 22 a 34 ° C, lugar donde se cultivaron las 6 diferentes variedades de *Sorghum bicolor* L. (sorgo), las cuales son:

CSV01588 bmrT, CSV01591 bmrT, CSV01592 bmrT, CSV01594 bmrT, CSV015104 bmrT, y la variedad CENTA CF (Anexo N°1, Figura N°17).

Para determinar las 6 líneas, se decidió trabajar con la planta completa además de evaluar también sus partes por separado: hojas, tallos y panoja. Las muestras de las diferentes partes de la planta se seleccionaron de 10 plantas de cada línea, las cuales se separaron en las partes de la planta de interés, a cada parte de las plantas se consideró como una muestra independiente, para reducir el error estadístico o la variación entre las repeticiones. Se seleccionaron otras 10 plantas de cada línea para el análisis como planta completa, considerando cada línea como muestra independiente (Ver Anexo N°5, Figura N°19), teniendo en total 20 plantas de cada línea genética seleccionadas para el análisis. Las plantas se cortaron y luego se guardaron en bolsas previamente identificadas y de color oscuro para protegerlas de la luz.

Posteriormente, fueron transportadas en una hielera, manteniendo la temperatura alrededor de 10 °C, hasta el Laboratorio de Investigación del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, para determinar en las muestras el contenido de Humedad parcial (%Hp) aproximadamente a 50 °C. Luego fueron molidas y almacenadas en bolsas debidamente identificadas y colocadas en un desecador, para ser analizadas por triplicado (Ver Anexo N°5, Figura N°19).

- **Universo**

Material genético de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo), utilizados como patrón para el mejoramiento genético de las variedades desarrolladas en El Salvador.

- **Muestra**

Se realizó el muestreo al azar en donde se seleccionaron 10 plantas de cada línea, las cuales se separaron en las partes de la planta de interés y se seleccionaron otras 10 plantas de cada línea para el análisis como planta completa, considerando cada línea como

muestra independiente (Ver Anexo N°5, Figura N°19), la cantidad de plantas seleccionadas permitió tener muestra suficiente para realizar los respectivos análisis.

Las muestras en estudio pertenecen a las seis líneas genéticas de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo) codificados de la siguiente manera: CSV01588 bmrT, CSV01591 bmrT, CSV01592 bmrT, CSV01594 bmrT, CSV015104 bmrT y CENTA CF. De cada una de las líneas genéticas se cuantificaron los taninos totales y los taninos condensados en: hoja, tallo, panoja y como planta completa.

Estas líneas genéticas fueron utilizadas como patrón de semillas para el mejoramiento genético en el Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), cultivadas en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

4.4 Parte experimental

4.4.1 Preparación de la muestra ⁸

Para las muestras de las diferentes partes de la planta se seleccionaron 10 plantas de cada línea, las cuales se separaron en las partes de la planta de interés (hojas, tallos, panojas), y cada conjunto de partes de la misma línea se consideró como una muestra independiente. Se seleccionaron otras 10 plantas de cada línea para el análisis como planta completa, considerando cada línea como muestra independiente, posteriormente se cortaron en fracciones de aproximadamente 5 cm de ancho por 5 cm de largo y se depositaron en bandejas previamente identificadas con número correlativo además de estar taradas, para determinar el contenido de Humedad parcial (%Hp) aproximadamente a 50 °C.

4.4.2 Determinación de Humedad parcial de la muestra ⁸

El contenido de humedad de la muestra se eliminó por medio de la volatilización o secado a causa del calor producido por una estufa de aire reforzado a una temperatura aproximadamente de 50 °C por 24 horas. La cantidad de material residual obtenido después de eliminar la humedad, convertida a porcentaje se considera como el porcentaje de materia seca.

Equipo y Procedimiento (Ver Anexo N°2 Materiales, equipos y reactivos, utilizados para los análisis y Anexo N°3 Procedimiento de análisis).

4.4.3 Preparación del número de repeticiones por muestras a realizar para el análisis

Posterior al cálculo de porcentaje de humedad parcial (%Hp), se molieron las hojas, tallos, panojas y plantas completas deshidratadas de cada línea genética en un molino de cuchillas, para luego tamizarlas a través de un tamiz de 0.25 mm, y obtener muestras homogéneas con tamaño de partícula uniforme para los posteriores análisis de cuantificación de taninos totales y cuantificación de taninos condensados. Se guardaron en bolsas identificadas con códigos estructurados con el nombre de la variedad de sorgo más la parte de la planta y se almacenaron en desecador; teniendo 24 análisis por variedad y un total de 144 análisis para las 6 variedades (Ver Anexo N°5, Figuras N°19).

4.4.4 Métodos para la cuantificación de taninos ⁸

La cuantificación de taninos de cada una de las variedades y sus partes de la planta: hojas, tallos, panoja y como planta completa de las seis variedades de *Sorghum bicolor* L. (Sorgo), se realizaron a través de dos métodos espectrofotométricos:

- Método de Folin-Ciocalteu modificado, para cuantificar taninos totales
- Método de Proantocianidinas (HCl- Butanol), para taninos condensados.

Las muestras deshidratadas fueron preparadas y extraídas con el solvente orgánico: acetonal al 70%. (Ver Anexo N°3 Preparación del extracto acetónico).

Método de Folin Ciocalteu modificado ⁸

La cuantificación de Taninos Totales se realizó según el procedimiento siguiente:

- Se elaboró una curva de calibración de la siguiente manera: en 6 tubos de ensayo se adicionaron a cada uno los volúmenes de los reactivos según se muestran en la Tabla N° 2, para llegar a la concentración de ácido tánico requerida. Se agitó cada tubo con el agitador Vortex y leímos la absorbancia a 725 nm después de 40 minutos en reposo.

- Se tomarón inicialmente alícuotas de 0.02 mL de extracto acetónico de la muestra en tubos de ensayo, y se agregó agua destilada para llevar a un volumen de 0.5 mL, luego adicionamos 0.25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu y luego 1.25 mL de solución de carbonato de sodio 20%.
- Agitamos los tubos con el agitador vortex y leímos la absorbancia a 725 nm después de 40 minutos en reposo a temperatura ambiente.
- Calculamos la cantidad de fenoles totales como equivalente de ácido tánico con respecto a la curva de calibración. El contenido fenólico total se expresa en base a la materia seca.

Tabla N°2. Preparación de la curva de calibración⁸.

Tubo	Solución de ácido tánico (0.1 mg/mL) (mL)	Agua destilada (mL)	Reactivo de Folin-Ciocalteu (mL)	Solución Carbonato de sodio (mL)	Concentración de ácido tánico (µg)
Blanco	0.00	0.50	0.25	1.25	0
T1	0.02	0.48	0.25	1.25	2
T2	0.04	0.46	0.25	1.25	4
T3	0.06	0.44	0.25	1.25	6
T4	0.08	0.42	0.25	1.25	8
T5	0.10	0.40	0.25	1.25	10

Remoción de taninos del extracto acetónico por el método de Folin- Ciocalteu modificado

- Pesamos 100 mg de Polivinilpirrolidona insoluble (PVPP) en un tubo de ensayo de 100 x 12 mm.
- Adicionamos 1.0 mL de agua destilada y luego 1.0 mL del extracto acetónico (100 mg de Polivinilpirrolidona insoluble son suficientes para unir 2 mg de fenoles totales; si el contenido fenólico total en el forraje es mayor al 10% en la materia seca, diluir el extracto apropiadamente).
- Agitamos el tubo de ensayo en el agitador Vortex.
- Conservamos el tubo de ensayo a 4°C por 15 minutos, agitamos nuevamente y luego centrifugamos por 10 minutos a 3000 rpm.

- Recolectamos el sobrenadante. Este sobrenadante solo tiene fenoles simples diferentes de taninos (los taninos deben haber sido precipitados junto con la Polivinilpirrolidona insoluble; el procedimiento para la unión de taninos con la Polivinilpirrolidona insoluble ha sido modificado y se refiere a la unión de los taninos a la Polivinilpirrolidona insoluble a un pH 3 ya que la unión máxima de la Polivinilpirrolidona insoluble a los taninos se da a este pH.
- Tomamos en tubos de ensayo, alícuotas del sobrenadante de 0.02 mL. Agregamos agua destilada para llevar a un volumen de 0.5 mL, adicionamos 0.25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu y luego 1.25 mL de solución de carbonato de sodio 20%.
- Agitamos los tubos con el agitador Vortex y leímos la absorbancia a 725 nm después de 40 minutos en reposo a temperatura ambiente.
- Expresamos el contenido de fenoles no Taninicos como equivalente de ácido tánico con respecto a la curva de calibración en base a la materia seca.

Método de Proantocianidinas ⁸

La cuantificación de Taninos condensados se realizó según procedimiento siguiente:

- Pipeteamos 0.5 mL de extracto acetónico en un tubo de ensayo de 100 x 12 mm, adicionamos 3.0 mL del reactivo HCl- Butanol (5:95 v/v) y 0.1 mL de Reactivo férrico. Agitamos el tubo en el agitador Vortex.
- Cubrimos la boca de cada tubo no por completo (para evitar explosión del tubo por la presión generada) con un tapón de vidrio y colocamos en un calentador ajustado a 97-100°C por 60 minutos.
- Enfriamos el tubo y registramos la absorbancia a 550 nm, restamos un blanco adecuado que suele ser la absorbancia de la mezcla sin calentar.
- Si el extracto tiene flavan-4-ols, se desarrolla un color rosa sin calentar. Si esto sucede, usar un blanco calentado para cada muestra que comprenda 0.5 mL del extracto, 3 mL de butanol y 0.1 mL del reactivo férrico.
- Cálculamos de taninos condensados (%TC) en la materia seca como equivalente de leucocianidina.

4.5 Metodología estadística

La cuantificación de taninos totales se realizó en 6 líneas genéticas en las siguientes partes de la planta: hojas, tallos, panoja y como planta completa, por lo que se vuelve un estudio estadístico multivariable. El método que se utilizó fue el análisis de varianza al 95% de confianza, con dos factores los cuales son: las partes de la planta y la línea genética.

4.5.1 Hipótesis

Hipótesis nula (H_0):

- La concentración de taninos totales en la planta completa entre las seis variedades de sorgo estudiadas no presenta diferencia significativa entre sus medias.
- La concentración de taninos totales en cada una de las partes de las plantas analizadas de las seis variedades de sorgo en estudio no presenta diferencia significativa entre sus medias.

Hipótesis alternativa (H_1):

- La concentración de taninos totales en la planta completa entre las seis variedades de sorgo estudiadas presenta diferencia significativa entre sus medias.
- La concentración de taninos totales en cada una de las partes de las plantas analizadas de las seis variedades de sorgo en estudio presenta diferencia significativa entre sus medias.

4.5.2 Análisis estadístico

Se utilizó el programa informático de Microsoft Office Excel 2016 (hoja de cálculo), en el cual se elaboraron cuadros comparativos de los resultados promedios de los análisis realizados, en triplicado, de cada parte de la planta en cada línea genética. Posteriormente se le realizó el análisis de varianza para determinar y comprobar si el tratamiento presentaba variación estadística entre las variables analizadas.

CAPITULO V

5.0 RESULTADOS

El desarrollo de este capítulo muestra los resultados obtenidos de la cuantificación de taninos totales y taninos condensados pertenecientes a las seis variedades de *Sorghum bicolor L.* (sorgo), las cuales son: CSV01588 bmrT, CSV01591 bmrT, CSV01592 bmrT, CSV01594 bmrT, CSV015104 bmrT y CENTA CF (Ver Anexo N°4, Figura N°18).

Los resultados promedios del contenido de taninos en la planta completa y en las partes de la planta se realizó por triplicado empleando el método espectrofotométrico, esto fue realizado en cada una de las muestras para obtener un promedio que representó al valor verdadero de la cantidad de taninos presente

5.1 Resultados

Método de Folin Ciocalteu modificado

Los resultados obtenidos por el método de Folin-Ciocalteu modificado por medio de la espectrofotometría UV a una absorbancia de 725nm, corresponden al porcentaje de taninos totales, estos resultados se presentan a continuación en cuadros individuales por cada una de las partes de la planta (hojas, tallos, panoja y planta completa) de las seis variedades de sorgo en estudio, (Ver Tabla N°3).

Tabla N°3. Resultados promedios de taninos totales por el método de Folin-Ciocalteu modificado en base seca

Porcentajes de taninos totales por el método de Folin-Ciocalteu modificado en base seca							
Parte de la planta	Repetición	CSV015104bmrT	CSV01588bmrT	CSV01591bmrT	CSV01592bmrT	CSV01594bmrT	CENTA CF
Hojas	1	0.582%	0.401%	0.290%	0.250%	0.267%	1.999%
	2	0.450%	0.618%	0.231%	0.476%	0.333%	2.050%
	3	0.713%	1.568%	0.261%	0.276%	0.729%	2.039%
Porcentaje promedio de taninos totales		0.582%	0.862%	0.261%	0.334%	0.443%	2.029%
Tallos	1	0.750%	0.937%	0.134%	0.401%	0.175%	2.191%
	2	0.436%	0.387%	0.225%	0.574%	0.088%	2.942%
	3	0.630%	0.243%	0.044%	0.322%	0.133%	4.002%
Porcentaje promedio de taninos totales		0.605%	0.522%	0.134%	0.432%	0.132%	3.045%
Panoja	1	0.210%	0.364%	0.174%	0.174%	0.301%	0.799%
	2	0.260%	0.330%	0.147%	0.088%	0.280%	0.600%
	3	0.212%	0.614%	0.174%	0.218%	0.255%	0.738%
Porcentaje promedio de taninos totales		0.227%	0.436%	0.165%	0.160%	0.279%	0.712%
Planta completa	1	0.369%	0.327%	0.290%	0.300%	0.372%	1.385%
	2	1.140%	0.207%	0.371%	0.270%	0.374%	1.324%
	3	0.596%	0.528%	0.327%	0.147%	0.418%	1.457%
Porcentaje promedio de taninos totales		0.702%	0.354%	0.329%	0.239%	0.388%	1.389%

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los resultados completos se muestran en el Anexo N°12

Método de Proantocianidinas (HCl- Butanol)

Los resultados obtenidos se presentan a continuación en cuadros individuales por cada una de las partes de la planta (hojas, tallos, panoja y planta completa) los cuales permiten ver la variación del porcentaje de taninos condensados (Ver Tabla N°4).

Tabla N°4. Resultados promedios de taninos condensados por el método de proantocianidinas respecto a su base seca.

Porcentajes de taninos condensados por el método de proantocianidinas en base seca							
Parte de la planta	Repetición	CSV015104bmrT	CSV01588bmrT	CSV01591bmrT	CSV01592bmrT	CSV01594bmrT	CENTA CF
Hoja	1	0.322%	0.290%	0.219%	0.216%	0.099%	0.496%
	2	0.385%	0.416%	0.217%	0.268%	0.091%	0.503%
	3	0.363%	0.388%	0.223%	0.272%	0.129%	0.581%
Porcentaje promedio de taninos condensados		0.357%	0.365%	0.220%	0.252%	0.106%	0.527%
Tallo	1	0.113%	0.069%	0.039%	0.084%	0.069%	0.017%
	2	0.129%	0.055%	0.045%	0.089%	0.077%	0.032%
	3	0.108%	0.049%	0.033%	0.108%	0.057%	0.025%
Porcentaje promedio de taninos condensados		0.117%	0.058%	0.039%	0.094%	0.068%	0.025%
Panoja	1	0.198%	0.348%	0.157%	0.070%	0.255%	0.318%
	2	0.243%	0.306%	0.152%	0.093%	0.196%	0.233%
	3	0.201%	0.391%	0.162%	0.098%	0.192%	0.216%
Porcentaje promedio de taninos condensados		0.214%	0.348%	0.157%	0.087%	0.214%	0.256%
Planta completa	1	0.359%	0.235%	0.162%	0.136%	0.114%	0.162%
	2	0.335%	0.155%	0.168%	0.122%	0.074%	0.164%
	3	0.347%	0.224%	0.176%	0.126%	0.074%	0.145%
Porcentaje promedio de taninos condensados		0.347%	0.204%	0.168%	0.128%	0.087%	0.157%

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los resultados completos se muestran en el Anexo N°15

5.2 Discusión de resultados

Método de Folin Ciocalteu modificado

Hojas

Los análisis de las muestras de hojas de las diferentes variedades de sorgo mostraron resultados significativos. En particular, la variedad de sorgo CENTA CF destacó con un contenido de taninos totales del 2.029%. Por el contrario, las demás variedades analizadas presentaron niveles de taninos totales inferiores a la variedad CENTA CF. Este contenido de taninos en las hojas permite a las variedades de sorgo la aclimatación a condiciones climáticas adversas dentro del corredor seco ¹⁷. Los resultados pueden apreciarse mejor en la Figura N°9.

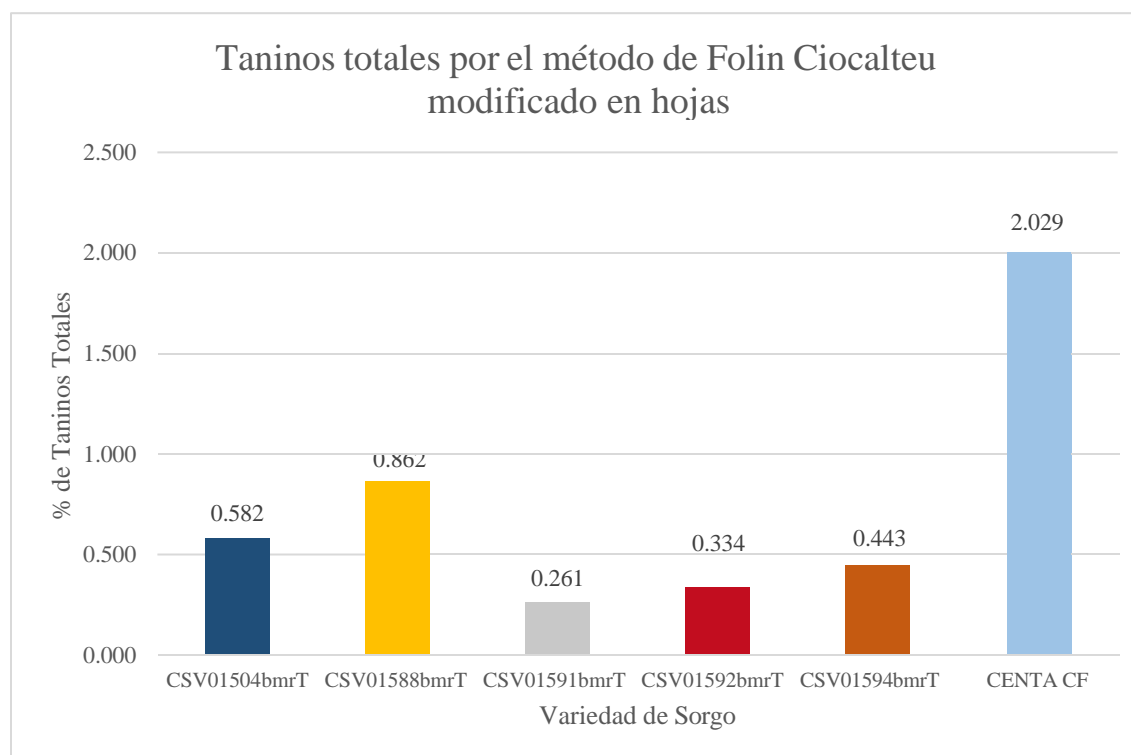


Figura N°9. Porcentajes de taninos totales en hojas en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado).

Fuente: Elaboración propia

Tallos

En el análisis detallado de las muestras de tallos de las diversas variedades de sorgo, se evidenció que la variedad CENTA CF destacó la concentración más elevada de taninos totales, alcanzando un porcentaje del 3.045%. Este resultado sugiere que los tallos de esta variedad podrían representar un recurso valioso en la alimentación de rumiantes ²⁰, así como la tolerancia a condiciones climáticas adversas ¹⁷. Por otro lado, la variedad de sorgo CSV015104bmrT presentó un contenido de taninos totales del 0.605%, situándose como la segunda variedad con mayor concentración. Los resultados fueron graficados para una mejor visualización y se presentan en la Figura N°10.

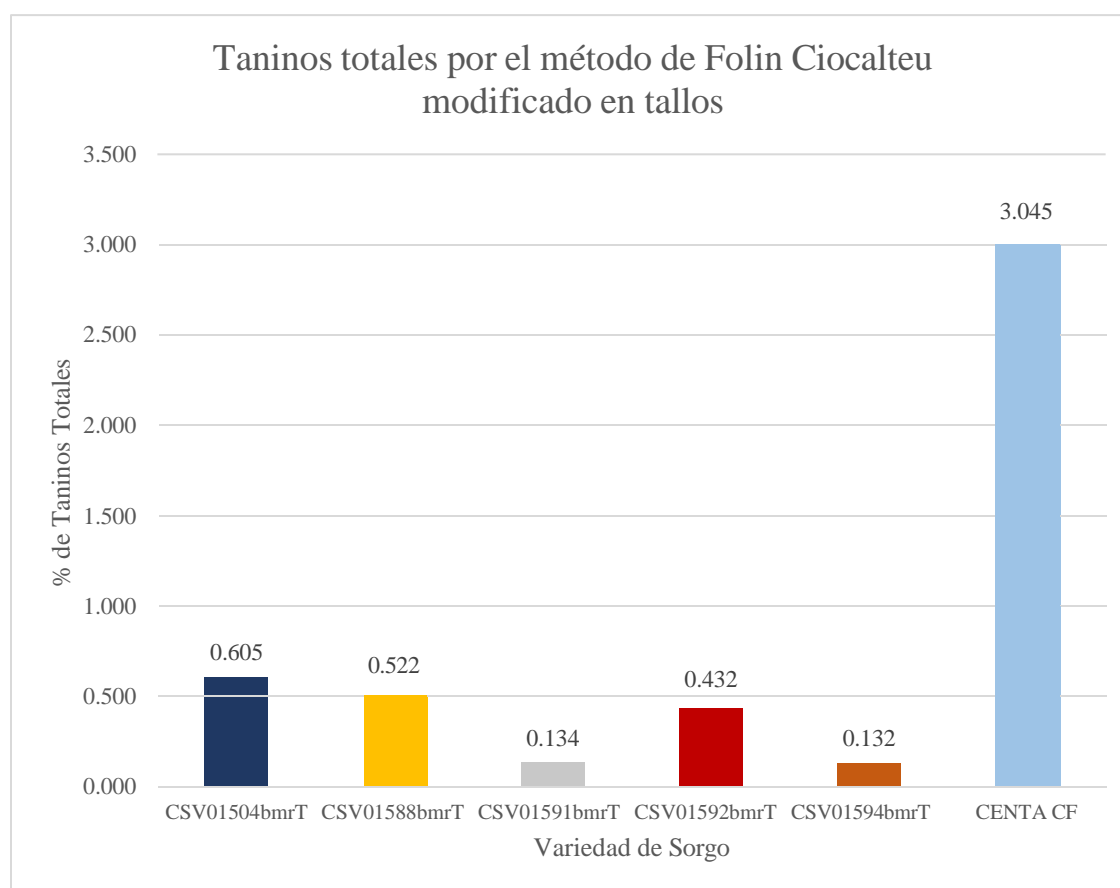


Figura N°10. Porcentajes de taninos totales en tallos en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado).

Fuente: Elaboración propia

Panojas

Todas las variedades de sorgo mostraron valores de taninos totales por debajo del 1%, el valor más alto se encontró en las panojas de la variedad CENTA CF, con un contenido de taninos totales del 0.712%, el contenido de taninos en el grano da un sabor astringente (amargo) haciéndolo menos apetecible y atractivo para ser consumido por los pájaros²¹, y estos resultados se pueden observar detalladamente en la Figura N°11.

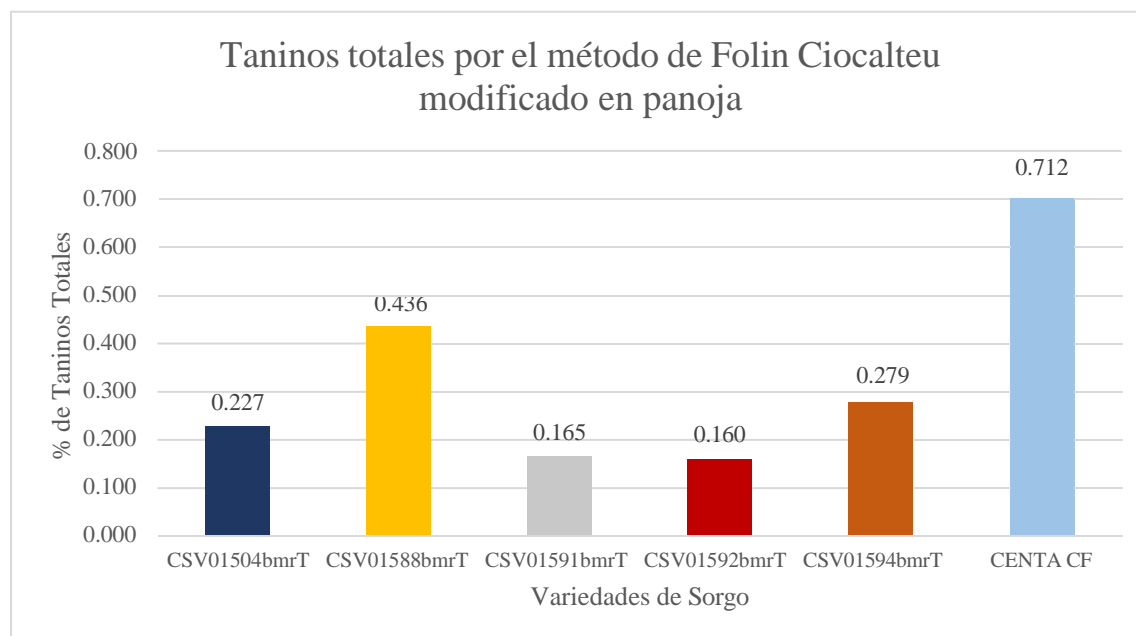


Figura N°11. Porcentajes de taninos totales en panojas en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado).

Fuente: Elaboración propia

Planta Completa

En la ganadería, la planta completa de sorgo es ampliamente empleada como alimento para el ganado, debido a su capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios que cubren los requerimientos mínimos en la nutrición animal, así como por su fácil manejo y su favorable relación costo/beneficio³.

Los sorgos modificados suelen contener taninos en sus tallos, hojas e inflorescencias. Aprovechando las propiedades de estos taninos en los procesos metabólicos de digestión, encapsulación y absorción de nutrientes, se utilizan para mejorar tanto la alimentación, lo que motiva su incorporación en la dieta animal. Se presentan en el Tabla N°3 y la Figura N°12 los resultados de los porcentajes de taninos totales en plantas completas de las diferentes variedades de sorgo estudiadas.

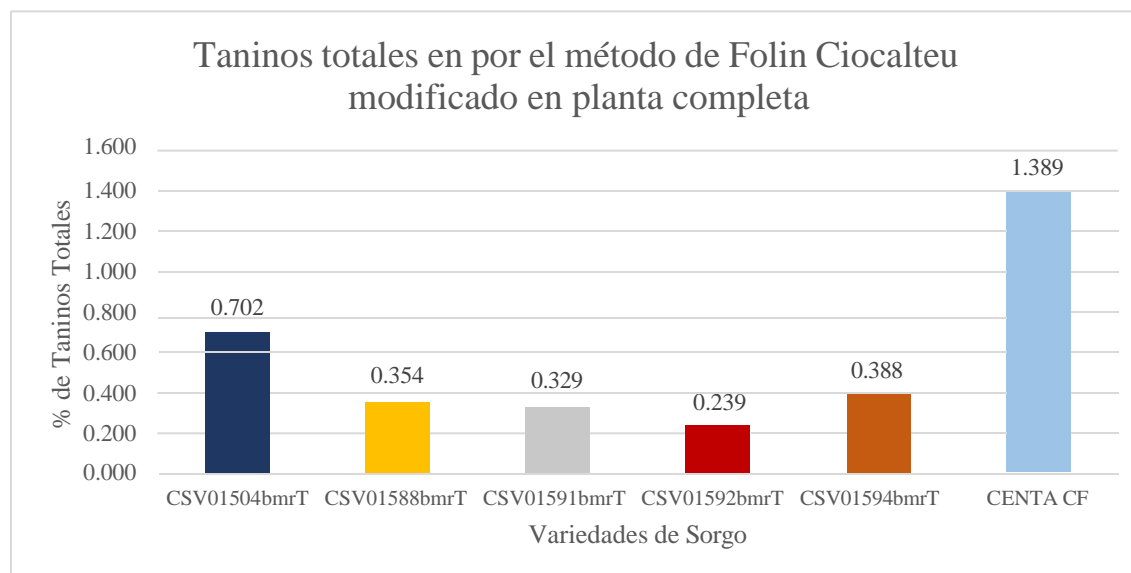


Figura N°12. Porcentajes de taninos totales en planta completa en base seca (método de Folin Ciocalteu modificado).

Fuente: Elaboración propia

Método de Proantocianidinas (HCl- Butanol)⁸

Los taninos condensados o proantocianidinas son polímeros de flavonas, que se encuentran presentes en los tallos, las hojas e inflorescencias de diversas especies forrajeras. Este grupo de taninos interactúa con las proteínas formando complejos, en moderada y baja concentración (2-4% de la materia seca), su efecto es beneficioso, previenen infecciones y aumentan la distribución del nitrógeno no amónico y de los aminoácidos esenciales desde el rumen²¹. Es por ello que en este apartado se presentan los porcentajes de taninos condensados obtenidos por el método de Proantocianidinas (HCl-Butanol) presentes en hojas, tallos, panoja y planta completa, de las 6 variedades de sorgo en estudio.

Hojas

Los resultados obtenidos del análisis de las muestras de hojas; demostró que la variedad que presentó el mayor porcentaje de taninos condensados fue la variedad CENTA CF, con 0.527%, seguida por la variedad CSV01588bmrT, que registró un 0.365%, concentraciones que no llegan al rango óptimo del 2 al 4% de taninos condensados necesarios para la encapsulación de proteínas en la dieta de vacas según la investigación de Lerner A.²¹. Para facilitar su comprensión se presentan estos porcentajes en la siguiente figura:

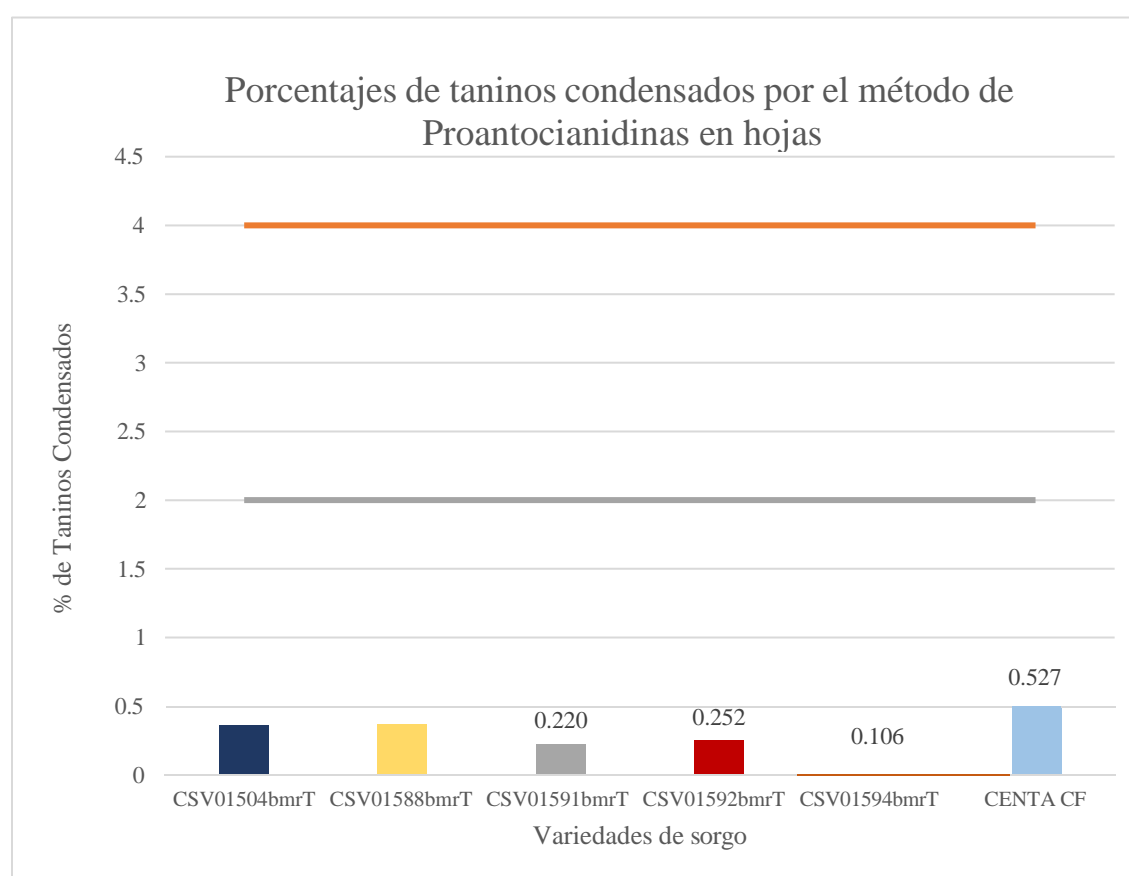


Figura N°13. Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en hojas respecto a base seca.

Fuente: Elaboración propia

Tallos

Se observaron variaciones en el porcentaje de taninos condensados encontrados en los tallos de las variedades analizadas, oscilando entre 0.117% y 0.025% concentraciones debajo del rango óptimo del 2 al 4% requerido para la encapsulación de proteínas. La variante CSV015104bmrT con el mayor porcentaje obtenido mostró un 0.117%; seguido de la variación CSV01592bmrT con 0.094% y la concentración más baja se obtuvo en la variante CENTA CF con 0.025%, estos valores se aprecian mejor en la Figura N°14.

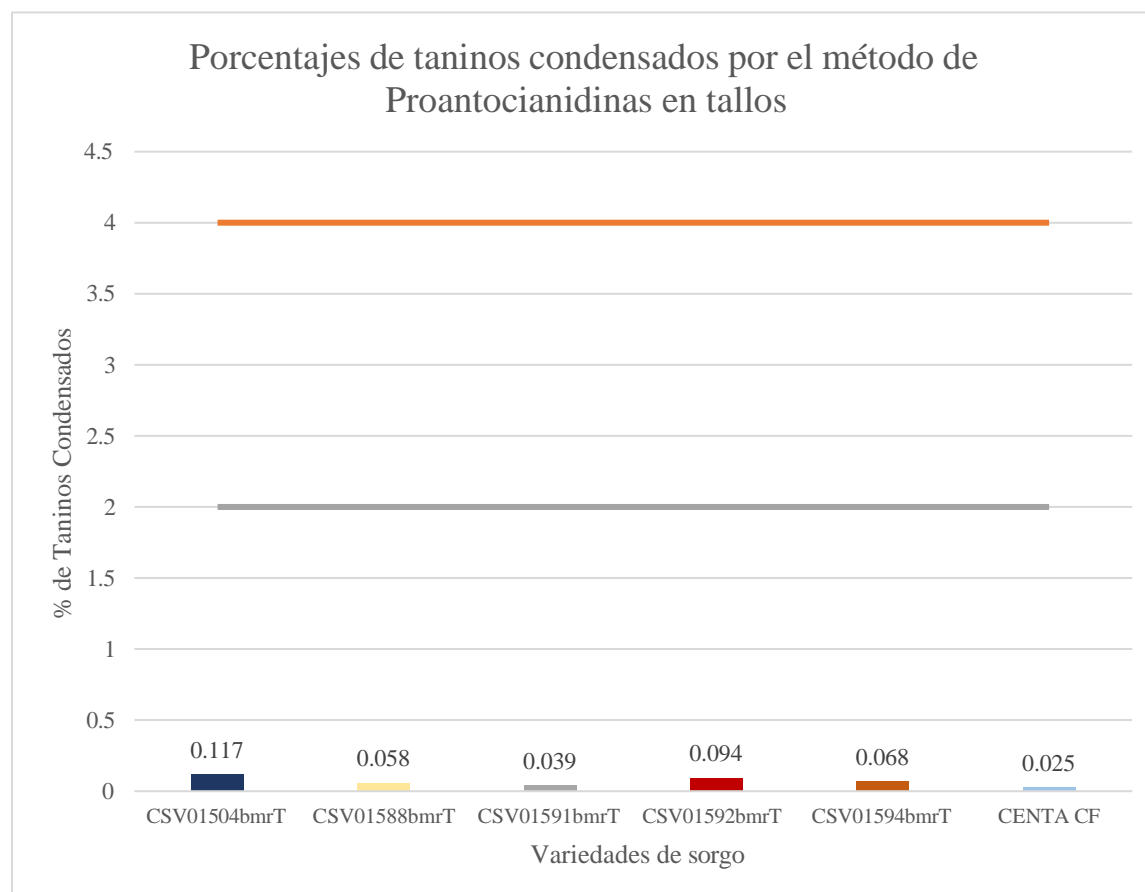


Figura N°14. Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en tallos respecto a la base seca.

Fuente: Elaboración propia

Panojas

Mientras que las muestras correspondientes a las panojas, la variedad de sorgo CSV01588bmrT presento el mayor porcentaje de taninos condensados con un valor de 0.348%, superando a la variedad CENTA CF, que presento 0.256% Ver Figura N°15, que ayuda a observar mejor los resultados obtenidos.

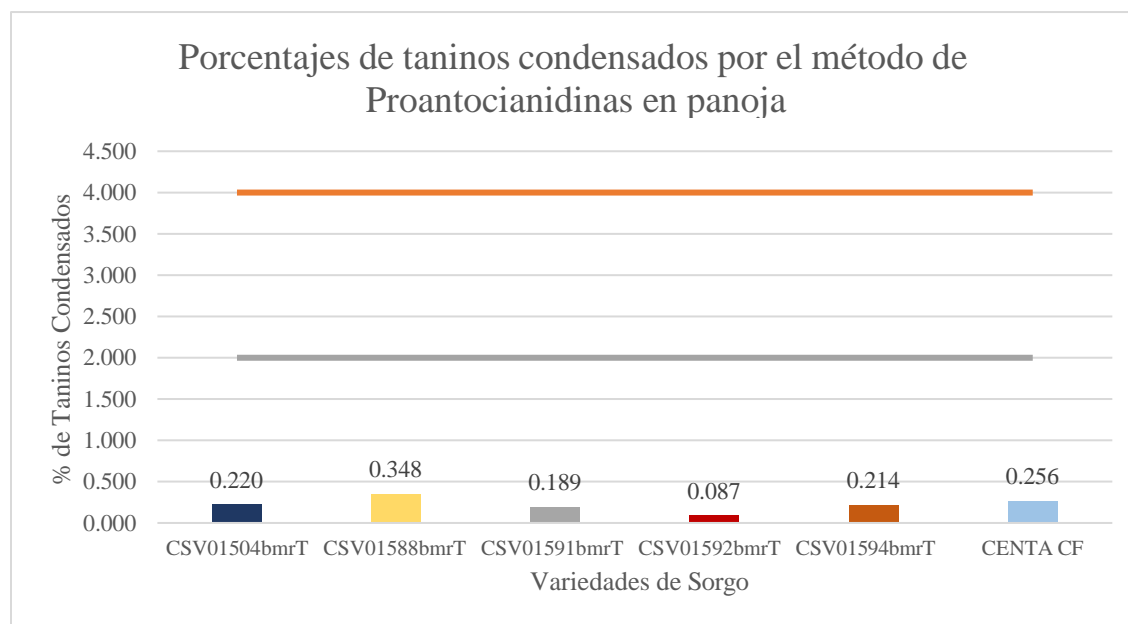


Figura N°15. Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en panoja respecto a la base seca.

Fuente: Elaboración propia

Planta completa

La variedad CSV015104bmrT presento el mayor porcentaje de taninos condensados con un valor del 0.347%, entre todas las muestras de plantas completas de las variedades en estudio (Ver Figura N°16).

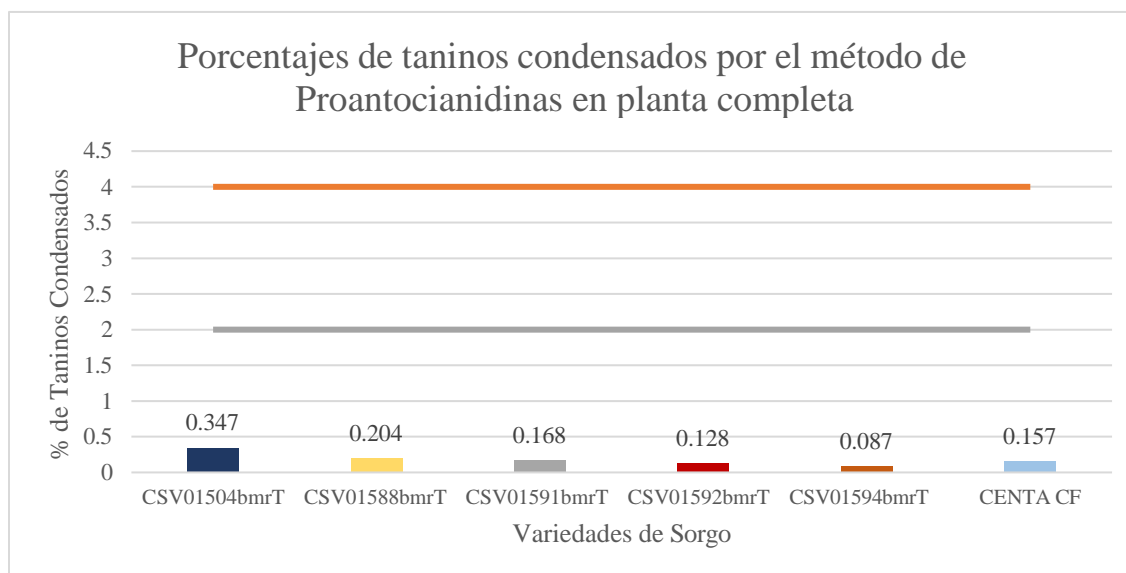


Figura N°16. Porcentajes de taninos condensados por el método de Proantocianidinas en planta completa respecto a la base seca.

Fuente: Elaboración propia

3.3.1 Análisis estadístico

A los resultados obtenidos de la cuantificación de taninos totales contenidos en las seis variedades de sorgo, se les realizó el análisis de varianza con dos factores, los cuales son la parte de la planta (hojas, tallos, panojas y plantas completas) y línea genética (Ver Tabla N°7)

Tabla N°5. Resultados promedio de taninos totales

Porcentajes promedio de taninos totales (%)						
Parte de la planta	CSV015104bmrT	CSV01588bmrT	CSV01591bmrT	CSV01592bmrT	CSV01594bmrT	CENTA CF
Hoja	0.582	0.862	0.261	0.334	0.443	2.029
Tallo	0.605	0.522	0.134	0.432	0.132	3.045
Panoja	0.227	0.436	0.165	0.160	0.279	0.712
Planta Completa	0.702	0.354	0.329	0.239	0.388	1.389

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°6. Desviación estándar de los porcentajes de taninos totales.

Desviación estándar de los porcentajes de taninos totales						
Parte de la planta	CSV015104bmrT	CSV01588bmrT	CSV01591bmrT	CSV01592bmrT	CSV01594bmrT	CENTA CF
Hoja	0.131	0.621	0.030	0.124	0.250	0.027
Tallo	0.158	0.366	0.091	0.129	0.044	0.910
Panoja	0.028	0.155	0.016	0.066	0.023	0.102
Planta Completa	0.396	0.162	0.040	0.081	0.026	0.066

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°7. Resultados del análisis de varianza obtenidos en la parte de la planta y la línea genética.

Análisis de varianza					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Parte de la planta	2.540	3	0.847	11.731	2.798
Línea genética	21.042	5	4.208	58.302	2.408
Interacción	7.527	15	0.502	6.952	1.880
Error	3.465	48	0.072	-	-
Total	34.574	71	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los resultados completos del análisis estadístico se muestran en el Anexo N°14

Parte de la Planta

En la Tabla N°7 podemos observar que para el análisis de varianza entre las partes de la planta de cada una de las líneas genéticas el valor de F (11.731) es mayor que el valor crítico para F (2.798), por lo que determina que hay una diferencia significativa entre las partes de la planta y la concentración de taninos totales que estas poseen, indicando que todas las variedades de sorgo analizadas no concentran los taninos en una parte de la planta específica, permitiendo así la función de estos componentes en cada parte de la planta. Rechazando así la hipótesis nula, ya que la concentración de taninos totales en las partes de la planta es diferente.

Línea genética

Para el resultado del análisis de varianza entre las líneas genéticas, se observa que el valor de F (58.302) es mayor que el valor crítico para F (2.408), por lo que entre las líneas genéticas hay una diferencia significativa en la concentración de taninos totales que estas poseen, permitiendo así la variedad de estas para hacerlas complementos con otras fuentes forrajeras y en raciones totales para la alimentación del ganado. Rechazando así la hipótesis nula, ya que la concentración de taninos totales en las líneas genéticas es diferente.

Interacción

Se realizó el análisis de varianza entre la interacción de partes de la planta y líneas genéticas para verificar la relación existente, permitiéndonos explorar como las variables independientes interactúan en el resultado, en el cual el valor F (6.952) es mayor que el valor crítico para F (1.880), por lo que entre las partes de la planta y las líneas genéticas hay una diferencia significativa en la concentración de taninos totales que estas poseen, y concluir que la cantidad de taninos totales en las partes de la planta y la cantidad de taninos totales en las líneas genéticas no es consistente en todas las variedades.

CAPITULO VI

6.0 CONCLUSIONES

1. Mediante esta investigación se logró cuantificar la cantidad de taninos totales y condensados en cada una de las 6 nuevas variedades de sorgo utilizadas para el mejoramiento genético contenidos en sus diferentes partes de las plantas: hojas, tallos, panoja y planta completa.
2. Los porcentajes promedios de taninos totales de las líneas genéticas obtenidos por el método de Folin Ciocalteu modificado mostraron un rango entre 0.132% al 3.045% en base seca, donde los resultados mayores fueron reportados en la variedad de sorgo CENTA CF en tallos con 3.045%.
3. Las nuevas líneas genéticas de sorgo aportan un valor importante de taninos condensados en su composición, teniendo valores entre el 0.527% y el 0.025%, valores que ayudaran a hacerse ajustes con base en los contenidos de cada variedad aprovechando ese porcentaje para la formación de la proteína sobrepasante en las dietas formuladas por los ganaderos. El porcentaje de inclusión dependerá del estado fisiológico y la edad de los animales.
4. Los resultados obtenidos del porcentaje de taninos totales y taninos condensados de las muestras de sorgo en sus diferentes partes de la planta y entre las diferentes variedades, revelaron una diferencia significativa en la concentración de taninos, por lo que se aprobaron las hipótesis alternativas, permitiendo así la variedad de concentraciones tanto en las partes de la planta como en las líneas genéticas, permitiendo poder diseñar estrategias efectivas combinándolas con otras fuentes forrajeras y raciones totales para obtener mejores beneficios en la alimentación del ganado.

CAPITULO VII

7.0 RECOMENDACIONES

1. A investigadores que realicen estudios donde analicen muestras de sorgo es importante considerar el proceso de recolección y procesamiento de las muestras, para evitar cualquier riesgo de contaminación por hongos o deterioro de las muestras, por lo que deben ser transportadas en condiciones controladas de temperatura, esto ayudara a mantener la calidad de las muestras y asegurar la fiabilidad de los datos.
2. Se recomienda a los profesionales Químico Farmacéuticos y Agrónomos que se continúe el estudio de la cuantificación de taninos totales y condensados en las variedades de sorgo utilizadas en esta investigación, combinados con mezclas de fuentes forrajeras y raciones totales a base de leguminosas, con el fin de diseñar estrategias efectivas que ayuden cumplir con la concentración de taninos condensados del 2 al 4%, para obtener el beneficio de la proteína sobrepasante.
3. Proponemos a los profesionales Químicos Farmacéuticos realizar estudios posteriores con estas variedades de sorgo (CSV01588 bmrT, CSV01591 bmrT, CSV01592 bmrT, CSV01594 bmrT, CSV015104 bmrT y CENTA CF), en donde se evalúen las muestras en diferentes edades fisiológicas para conocer, si su contenido de taninos aumenta o disminuye.
4. En estudios futuros, se recomienda a los profesionales Agrónomos evaluar tanto los volúmenes como la calidad nutricional de la leche producida al alimentar al ganado vacuno con cualquiera de las variedades de sorgo estudiadas. Además, se sugiere investigar la calidad nutricional de la dieta del ganado vacuno mediante la inclusión de diferentes porcentajes de estas variedades de sorgo. Esto permitirá evaluar la contribución de proteínas, grasas, carbohidratos, fibras y minerales en la alimentación del ganado vacuno y comprender mejor su impacto en la producción de leche y la salud del ganado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fernandez, H., & Soteras, A. (2017). Obtenido de Efesalud: <https://www.efesalud.com/antinutrientes-absorcion-alimentos/>
2. Biomasa, C. t. (2019). *Plantasdebiomasa*. Obtenido de <http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>
3. Soto, C., & V., R. (2008). Obtenido de Producción animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/73-NO_DEGRADABLE.pdf
4. Gomez, M. (2010). *Utilizacion de taninos en la dieta de rumiantes*. Argentina.
5. *Contexto ganadero*. (2018). Obtenido de Autor: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/que-es-la-ration-total-mezclada-tmr-para-las-ganaderias-de-leche>
6. MAG; INTA; IPSA. (2016). Manual de protagonista Nutricion animal . Nicaragua .
7. Garcia, R., & Ramos, R. (2011). *Alimentacion de vacas lecheras con dietas basadas en ensilado elaborado con mezcla de canavalia (*Canavalia ensiformis*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) y su efecto en la produccion, eficiencia en el uso de nutrientes y rentabilidad*. Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.
8. Acosta, M., & Hernandez, R. (2012). *Cuantificación de taninos por dos métodos espectrofotométricos en muestras forrajeras y raciones totales a base de leguminosas: *Canavalia ensiformis* (canavalia), *Vigna sinensis* (frijol mono) y Gramineas: *Sorghum vulgare* (sorgo)*. Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.
9. Barrionuevo, G. y. (s.f.). *Especies forrajeras*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/especiesforrajeras/especies-forrajeras/mijo>
10. CENTA/MAG. (2007). *Guía técnica del sorgo*. La Libertad, El Salvador: Impresiones digitales diversas.

11. Alarcón, L., Vides, J., & Morán, J., & /CENTA. (2018). *Cultivo del sorgo Sorghum bicolor L. Moench*. La Libertad, El Salvador.
12. Kuklinski, C. (2000). *farmacognosia*. Barcelona : Ediciones omega.
13. Gomez, M. (2010). *Utilizacion de taninos en la dieta de rumiantes*. Argentina.
14. Hervás, G. (2009). *Protección de suplementos proteicos frente a la degradación rumial: utilizacion de taninos*. León.
15. Yocupicio J (2017). Efecto de la adición de taninos en la respuesta productiva y las características de la canal de ovinos de pelo con dietas de finalización. Baja California, Mexico.
16. Silvateam. (2000). Obtenido de Las funciones de los taninos:
<https://www.silvateam.com/es/quienes-somos/extraidos-de-la-naturaleza/taninos/presencia-en-las-plantas.html>
17. Wagner, M., Ricco, R., & Agudelo, I. (2015). Métodos empleados en el análisis de los polifenoles en un laboratorio de baja complejidad. Ciudad Autonoma , Buenos Aires, Argentina .
18. Sandoval, M., & Valencia Rodriguez, A. (2005). *Granulometría en harinas y contenido taninos en el grano de sorgo criollo cultivado en seis departamentos de El Salvador*. Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.
19. UES. (s.f.). *Facultad de Ciencias Agronómicas* . Obtenido de <http://www.agronomia.ues.edu.sv>
20. Kurniawan H., & Dwiatmini K. (2016) Tannin Content Diversity in Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) Germplasm, Indonesia.
21. Arévalo L. Taninos condensados en especies forrajeras y sus efectos en la productividad animal. *Nutritime*. 2008; 5(59): 584-591.

ANEXOS

ANEXO N° 1

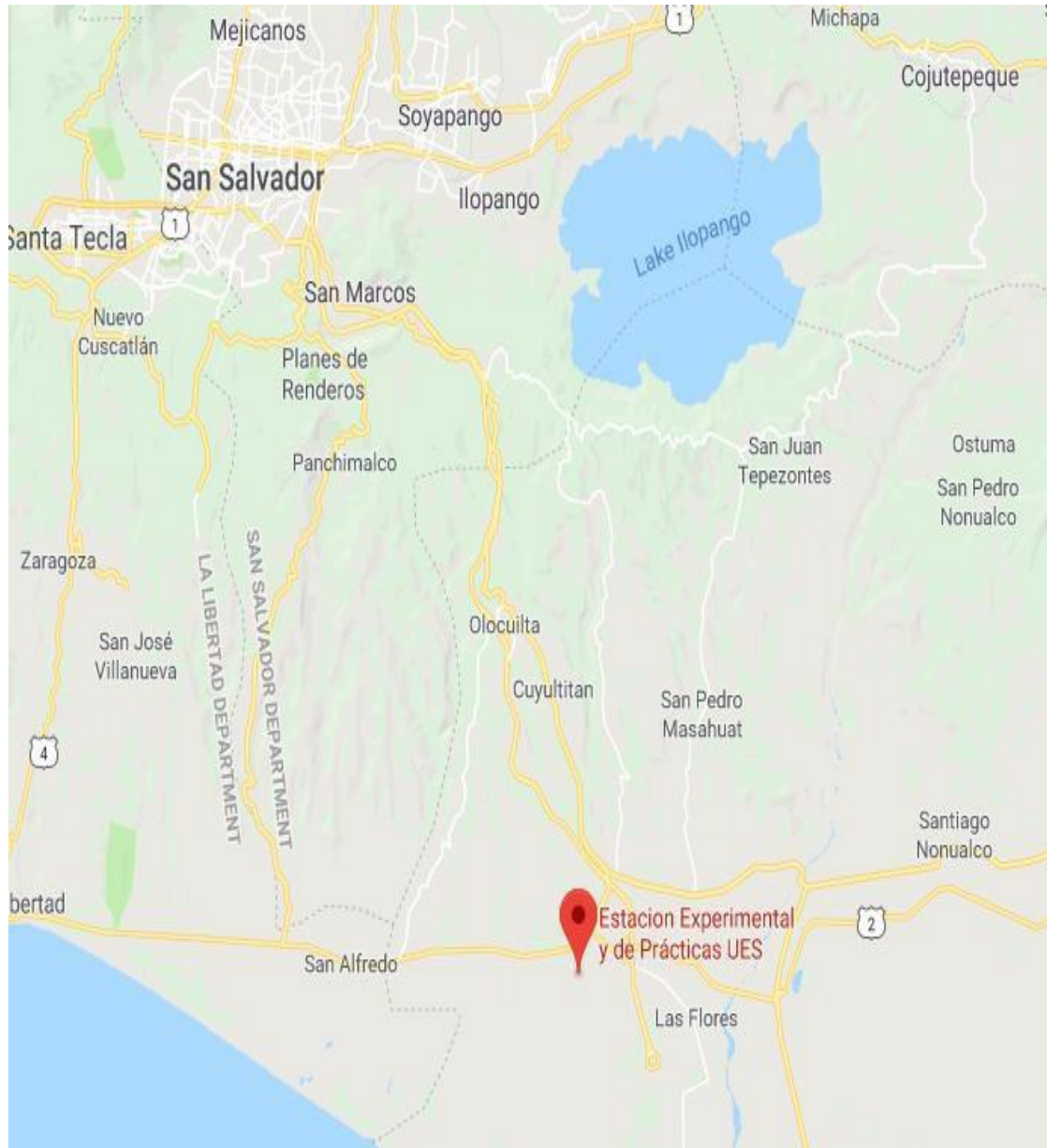


Figura N°17. Ubicación geográfica de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°2

MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS, UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS

Preparación de Materia Seca ⁸

Equipo:

- Estufa de ventilación forzada
- Bandeja de aluminio
- Desecador
- Balanza granataria digital

Preparación del extracto acetónico ⁸

Materiales:

- Tubos Falcón de capacidad de 15 mL
- Tubos de centrifugación

Equipos:

- Balanza analítica
- Baño de agua con ultrasonido
- Centrifugadora
- Baño de hielo

Reactivo:

- Acetona 70%

Análisis de fenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu modificado ⁸

Materiales:

- Tubos de ensayo 100 x 12 mm
- Pipetas de 1.0 mL y pipetas de 5.0 mL
- Bureta de 10.0 mL
- Vasos de precipitados de 25 mL

Equipo:

- Espectrofotómetro ultravioleta-visible

- Agitador Vortex

Reactivos:

- Reactivo de Folin- Ciocalteu (2 N): Diluir el reactivo de Folin- Ciocalteu (1 N) que se encuentra comercialmente, con un volumen igual de agua destilada, almacenar a 4 °C en un frasco de vidrio ambar. NOTA: no usar este reactivo si se vuelve de color verde olivo.
- Carbonato de sodio (20%): pesar 40 g de $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, disolverlo con agua destilada y llevar a volumen de 200 mL.
- Agua destilada.
- Solución estándar de ácido tánico (0.1 mg/mL): disolver 25 mg de ácido tánico en 25 mL de agua destilada y luego diluir 1:10 en agua destilada (usar siempre solución de preparación reciente).

Remoción de taninos del extracto acetónico por el método de Folin- Ciocalteu modificado ⁸

Materiales:

- Tubos de ensayo 100 x 12 mm
- Pipetas de 1 mL y pipetas de 5 mL

Equipo:

- Espectrofotómetro ultravioleta-visible
- Agitador Vortex
- Balanza analítica
- Centrifugadora

Reactivos:

- Polivinil pirrolidona
- Reactivo de Folin- Ciocalteu (2 N)
- Carbonato de sodio (20%)
- Agua destilada

Cuantificación de taninos condensados por el método de proantocianidinas ⁸

Materiales:

- Tubos de ensayo 100 x 12 mm
- Pipetas de 1 mL y pipetas de 5 mL

Equipo:

- Espectrofotómetro ultravioleta-visible
- Agitador Vortex
- Calentador

Reactivos:

- HCl- Butanol
- Reactivo férrico (Sulfato de amonio férrico al 2% en HCl 2 N)

ANEXO N°3

PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS

Determinación de Materia Seca ⁸

Procedimiento:

1. Limpiar las bandejas de aluminio y secar en estufa a 50-55°C por una hora.
2. Enfriar en un desecador.
3. Pesarse la bandeja de aluminio vacía y anotar el peso tara.
4. Pesarse la muestra
5. Colocar en estufa a 50-55°C por 8 horas.
6. Enfriar en un desecador.
7. Pesarse la caja de aluminio + muestra.
8. Realizar los cálculos para determinar el porcentaje de humedad parcial según la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad Parcial} = \frac{((P \text{ bandeja} + P \text{ muestra seca}) - (P \text{ bandeja}))}{P \text{ muestra húmeda}} \times 100$$

9. Moler muestras en molino de cuchillas
10. Almacenar en bolsas identificadas y colocar en desecador.

Preparación del Extracto acéutico⁸

Material, equipo y reactivos (Ver Anexo N°2)

Procedimiento (Ver Anexo N°6, Figura N°20)

- Pesarse 200 mg de la muestra preparada según la sección 7.4.2 y colocar en un tubo Falcón de 15 mL de capacidad.
- Adicionar 10 mL de acetona al 70% al tubo Falcón de 15 mL con el material vegetal y suspender en un baño de agua con ultrasonidos, someter a tratamiento ultrasónico durante 20 minutos (2 x 10 min con 5 min de descanso entre cada uno) a temperatura ambiente.
- Transferir el contenido del tubo Falcón de 15 mL a un tubo de centrifugación y someter a centrifugación durante 10 minutos a 3000 rpm a 4°C (si la centrifuga refrigerada no está disponible, enfriar el tubo manteniendo el tubo de centrifugación en refrigeración por 30 minutos y después centrifugar a 3000 rpm en una centrifuga convencional).

- Colectar el sobrenadante y mantenerlo en hielo. Transferir el precipitado del tubo de centrifugación al tubo Falcón de 15 mL usando dos porciones de 5 mL cada una de acetona al 70% y someter otra vez el contenido a tratamiento ultrasónico por 20 minutos (2 x 10 minutos con 5 minutos de descanso entra cada una) a temperatura ambiente, centrifugar y recoger el líquido sobrenadante como se describió anteriormente. Utilizar el sobrenadante (extracto acétonico) para la cuantificación de taninos.

Análisis para Cuantificación de Fenoles totales ⁸

Material, equipo y reactivos (Ver Anexo N°2)

Procedimiento (Ver Anexo N°7, Figura N°21)

- Elaborar una curva de calibración de la siguiente manera: en 6 tubos de ensayo adicionar a cada uno los volúmenes de los reactivos según se muestran en la Tabla N°2, para llegar a la concentración de ácido tánico requerida. Agitar cada tubo con el agitador Vortex y leer la absorbancia a 725 nm después de 40 minutos en reposo.
- Tomar inicialmente alícuotas de 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 y 0.10 mL de extracto acetónico de la muestra en tubos de ensayo, agregar agua destilada para llevar a un volumen de 0.5 mL, adicionar 0.25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu y luego 1.25 mL de solución de carbonato de sodio 20%.
- Agitar los tubos con el agitador vortex y leer absorbancia a 725 nm después de 40 minutos en reposo a temperatura ambiente.
- Calcular la cantidad de fenoles totales como equivalente de ácido tánico con respecto a la curva de calibración (Ver Tabla N°2). El contenido fenólico total se expresa en base a la materia seca.

Remoción de taninos del extracto acetónico ⁸

Material, equipo y reactivos (Ver Anexo N°2)

Procedimiento (Ver Anexo N°8, Figura N°22)

- Pesar 100 mg de Polivinil pirrolidona insoluble (PVPP) en un tubo de ensayo de 100 x 12 mm.
- Adicionar 1.0 mL de agua destilada y luego 1.0 mL del extracto acetónico (100 mg de Polivinil pirrolidona insoluble son suficientes para unir 2 mg de fenoles totales; si el contenido fenólico total en el forraje es mayor al 10% en la materia seca, diluir el extracto apropiadamente).
- Agitar el tubo de ensayo en agitador Vortex.
- Conservar el tubo de ensayo a 4°C por 15 minutos, agitar nuevamente y luego centrifugar por 10 minutos a 3000 rpm.
- Recolectar el sobrenadante. Este sobrenadante solo tiene fenoles simples diferentes de taninos (los taninos deben haber sido precipitados junto con la Polivinil pirrolidona insoluble; el procedimiento para la unión de taninos con la Polivinil pirrolidona insoluble ha sido modificado y se refiere a la unión de los taninos a la Polivinil pirrolidona insoluble a un pH 3 ya que la unión máxima de la Polivinil pirrolidona insoluble a los taninos se da a este pH).
- Tomar, en tubos de ensayo, alícuotas del sobrenadante de por lo menos el doble del volumen usado para la estimación de fenoles totales (0.00, 0.04, 0.08, 0.12, 0.18 y 0.20 mL), ya que el extracto ha sido diluido dos veces y se espera perder taninos-fenoles por la unión con la Polivinil pirrolidona insoluble. Agregar agua destilada para llevar a un volumen de 0.5 mL, adicionar 0.25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu y luego 1.25 mL de solución de carbonato de sodio 20%.
- Agitar los tubos con el agitador Vortex y leer la absorbancia a 725 nm después de 40 minutos en reposo a temperatura ambiente.
- Expresar el contenido de fenoles no tanínicos como equivalente de ácido tánico con respecto a la curva de calibración en base a la materia seca.

Cuantificación de taninos condensados por el método de proantocianidinas ⁸

Material, equipo y reactivos (Ver Anexo N°2)

Procedimiento (Ver Anexo N°9, Figura N°23)

- Pipetear 0.5 mL de extracto acetónico en un tubo de ensayo de 100 x 12 mm, adicionar 3.0 mL del reactivo HCl- Butanol (5:95 v/v) y 0.1 mL de Reactivo férrico. Agitar el tubo en el agitador Vortex.
- Cubrir la boca de cada tubo no por completo (para evitar explosión del tubo por la presión generada) con un tapón de vidrio y colocar en un calentador ajustado a 97-100°C por 60 minutos.
- Enfriar el tubo y registrar la absorbancia a 550 nm, restar un blanco adecuado que suele ser la absorbancia de la mezcla sin calentar.
- Si el extracto tiene flavan-4-ols, se desarrolla un color rosa sin calentar. Si esto sucede, usar un blanco calentado para cada muestra que comprenda 0.5 mL del extracto, 3 mL de butanol y 0.1 mL del reactivo férrico.
- Cálculo de taninos condensados (%TC) en la materia seca como equivalente de leucocianidina:

$$\%TC = \frac{(\text{Absorbancia a } 550 \text{ nm}) (78.26) (\text{Factor de dilución})}{(\%MS)}$$

Donde:

Absorbancia a 550 nm= Absorbancia de la muestra registrada a 550 nm

78.26 = Número de Stiasny

Factor de dilución = El Factor de dilución es igual a 1 si no se adiciona acetona al 70% al extracto que se elaboró con 200.0 mg de muestra en 10.0 mL de solvente pero cuando se adiciona acetona al 70% el factor de dilución es 0.5 mL/ (Volumen de extracto tomado), esto con el fin que la absorbancia no exceda de 0.6

ANEXO N°4

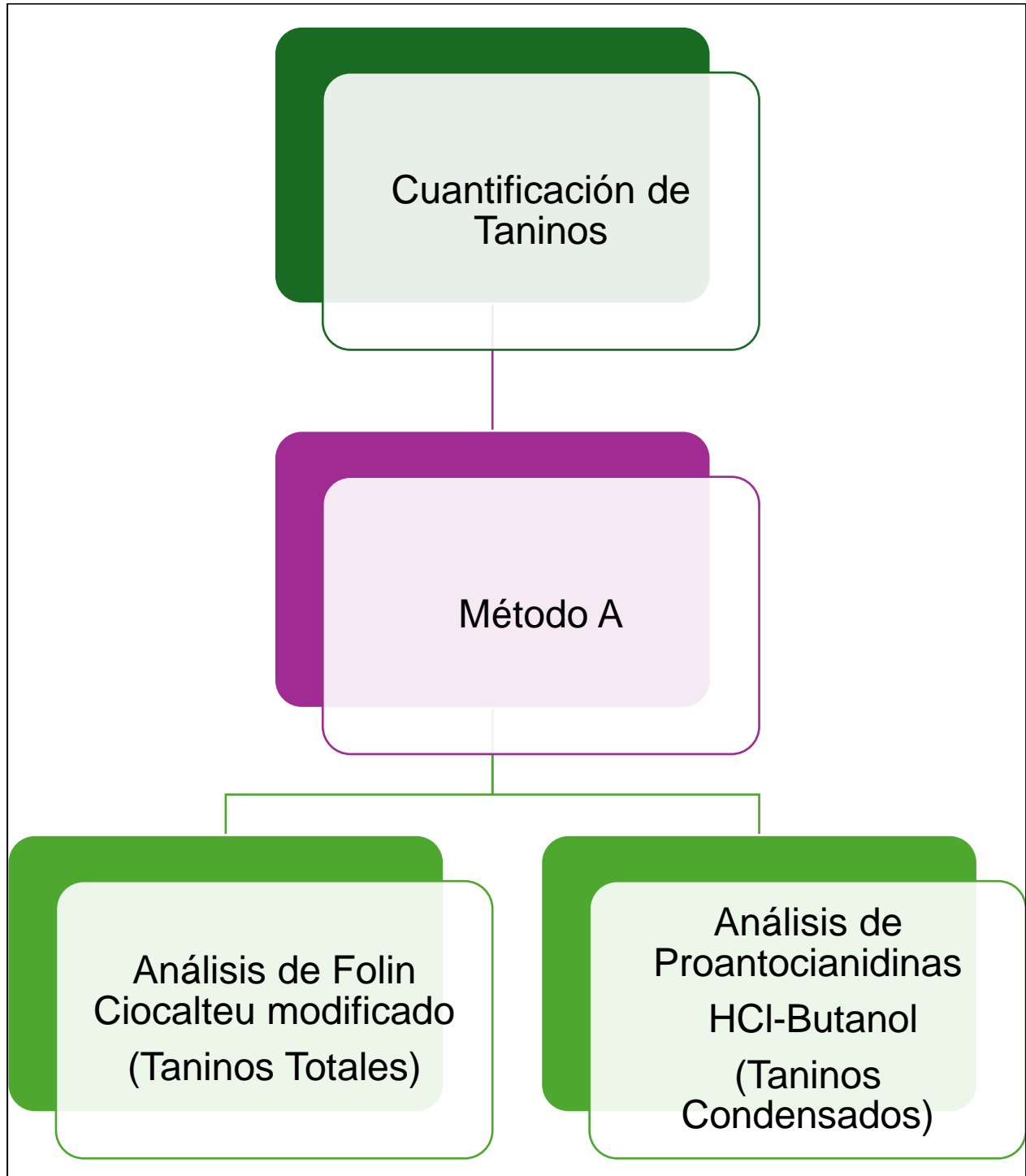


Figura N°18. Esquema de cuantificación de taninos totales y condensados

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°5

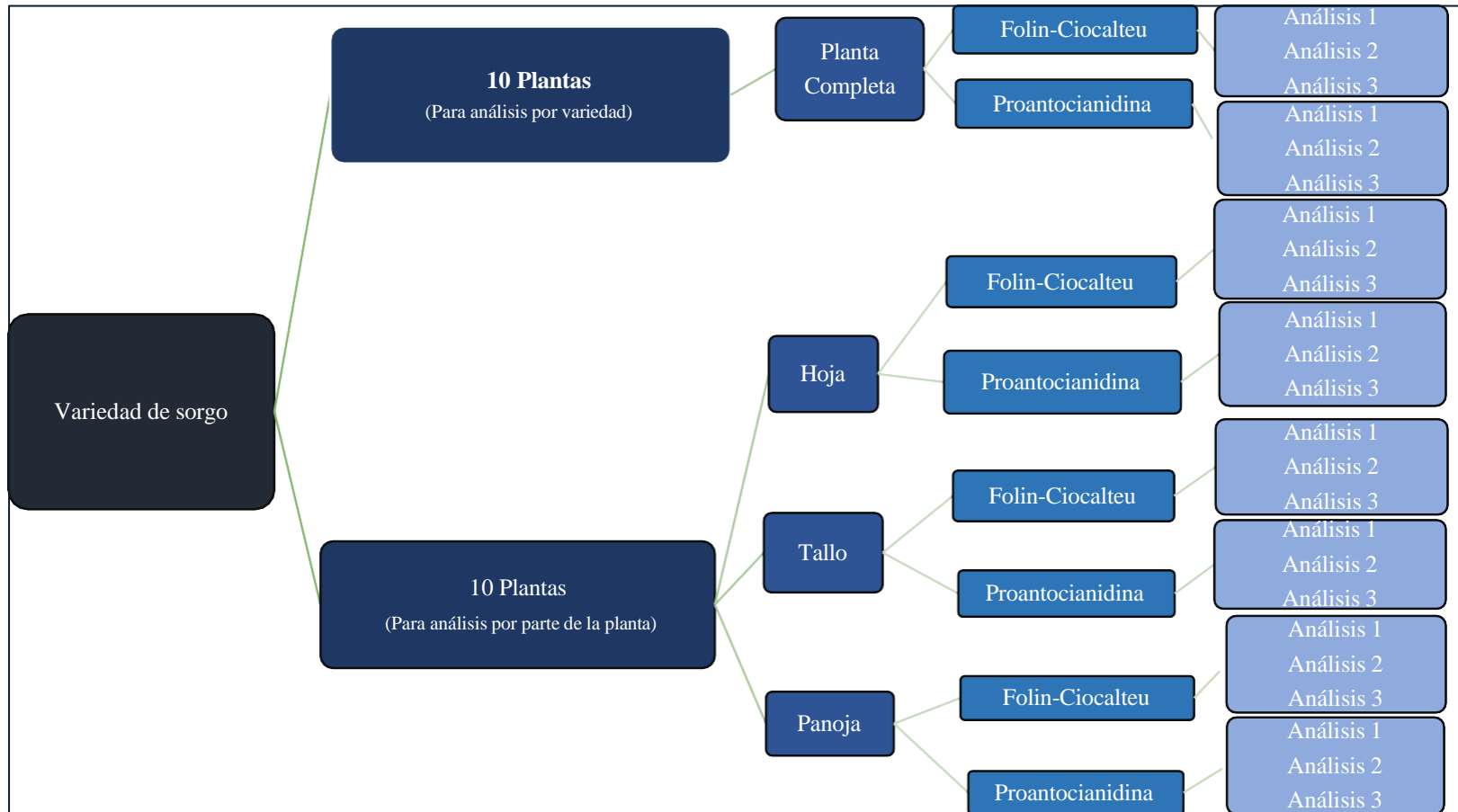


Figura N°19. Esquema del total de análisis para cada una de las variedades de sorgo.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°6

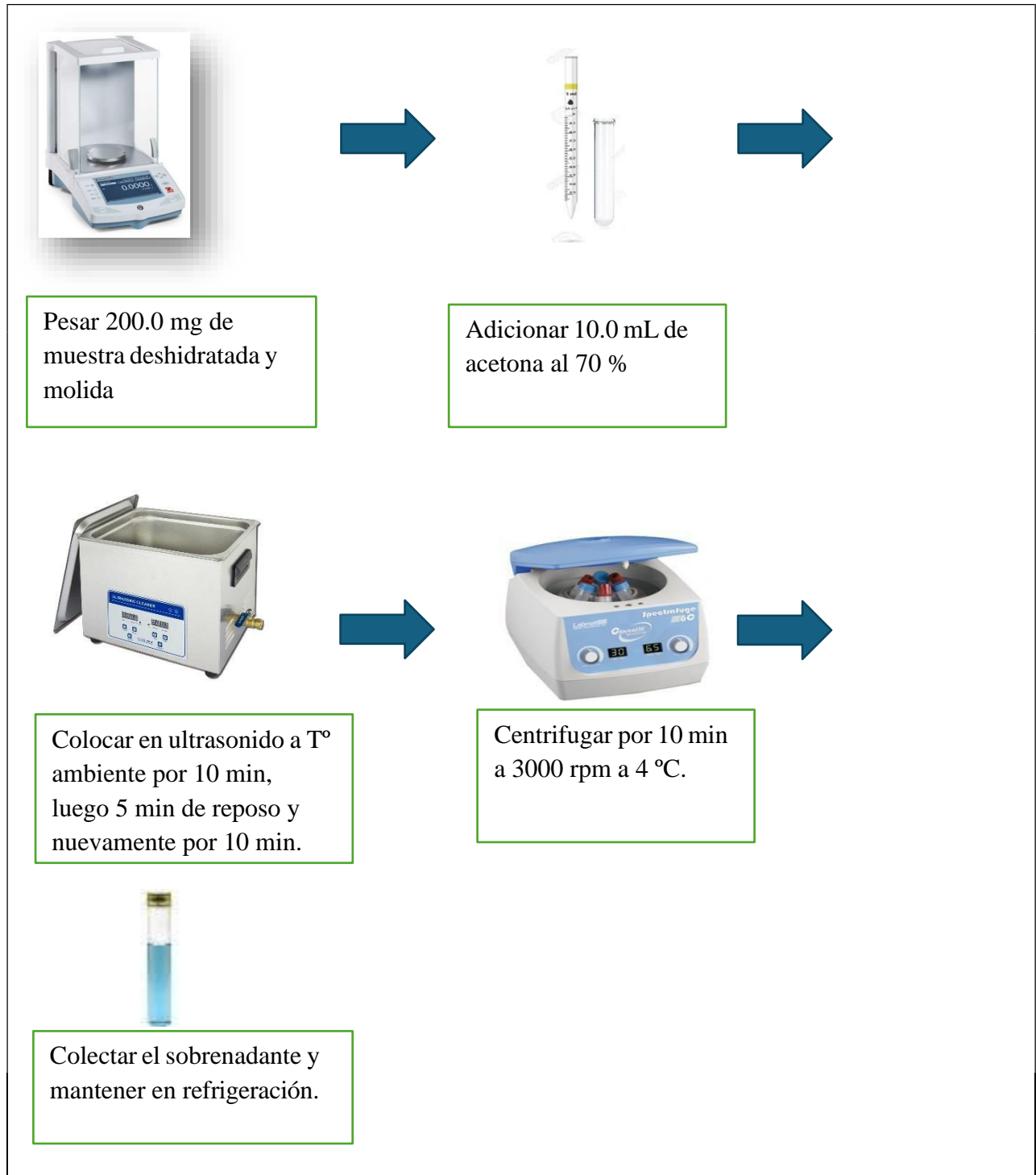


Figura N°20. Procedimiento de preparación del extracto acetónico.

Fuente: Elaboración propia basada en referencia ⁸.

ANEXO N°7

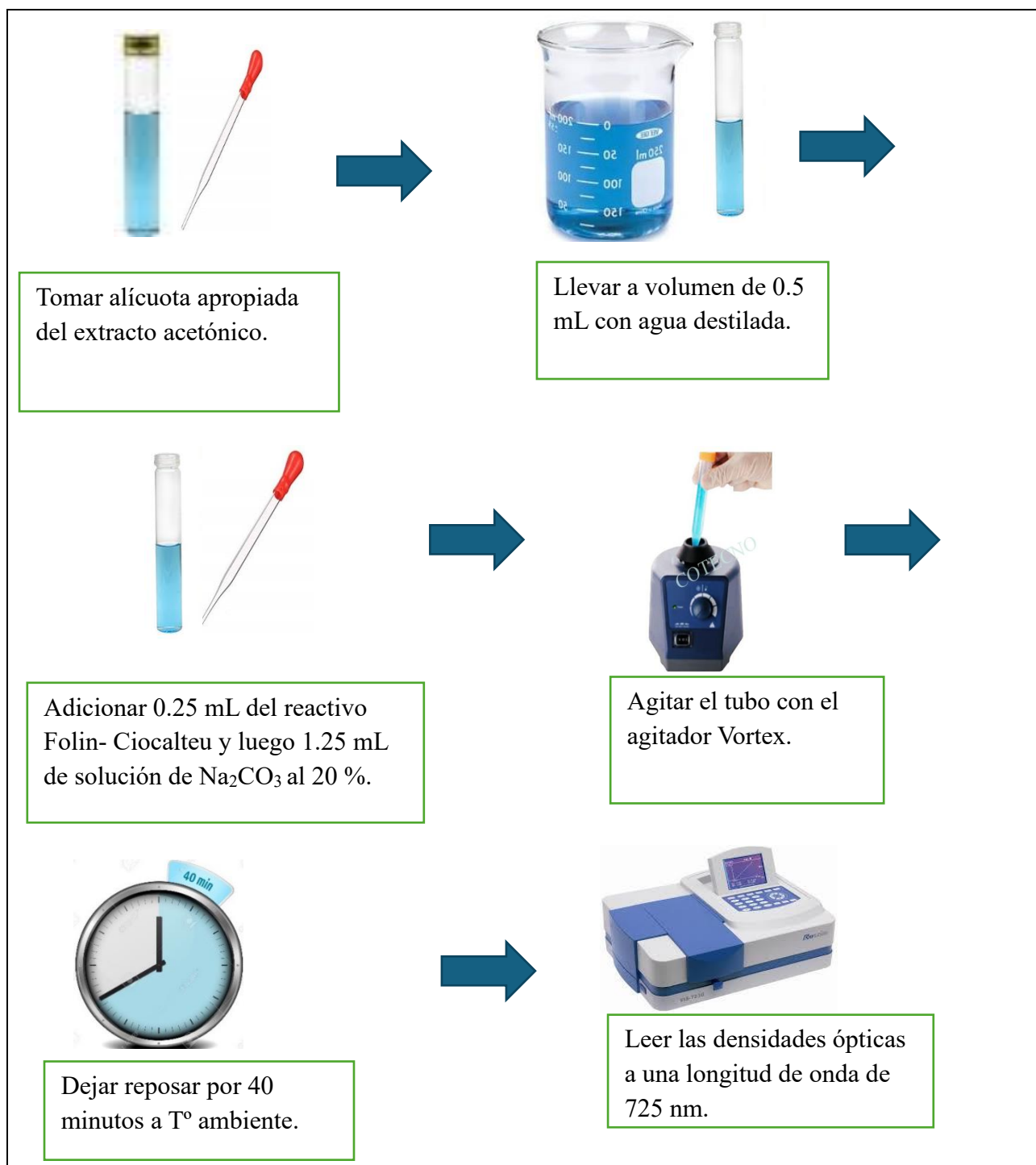


Figura N°21. Procedimiento para la cuantificación de fenoles totales por el método de Folin Ciocalteu modificado

Fuente: Elaboración propia basada en referencia ⁸.

ANEXO N°8

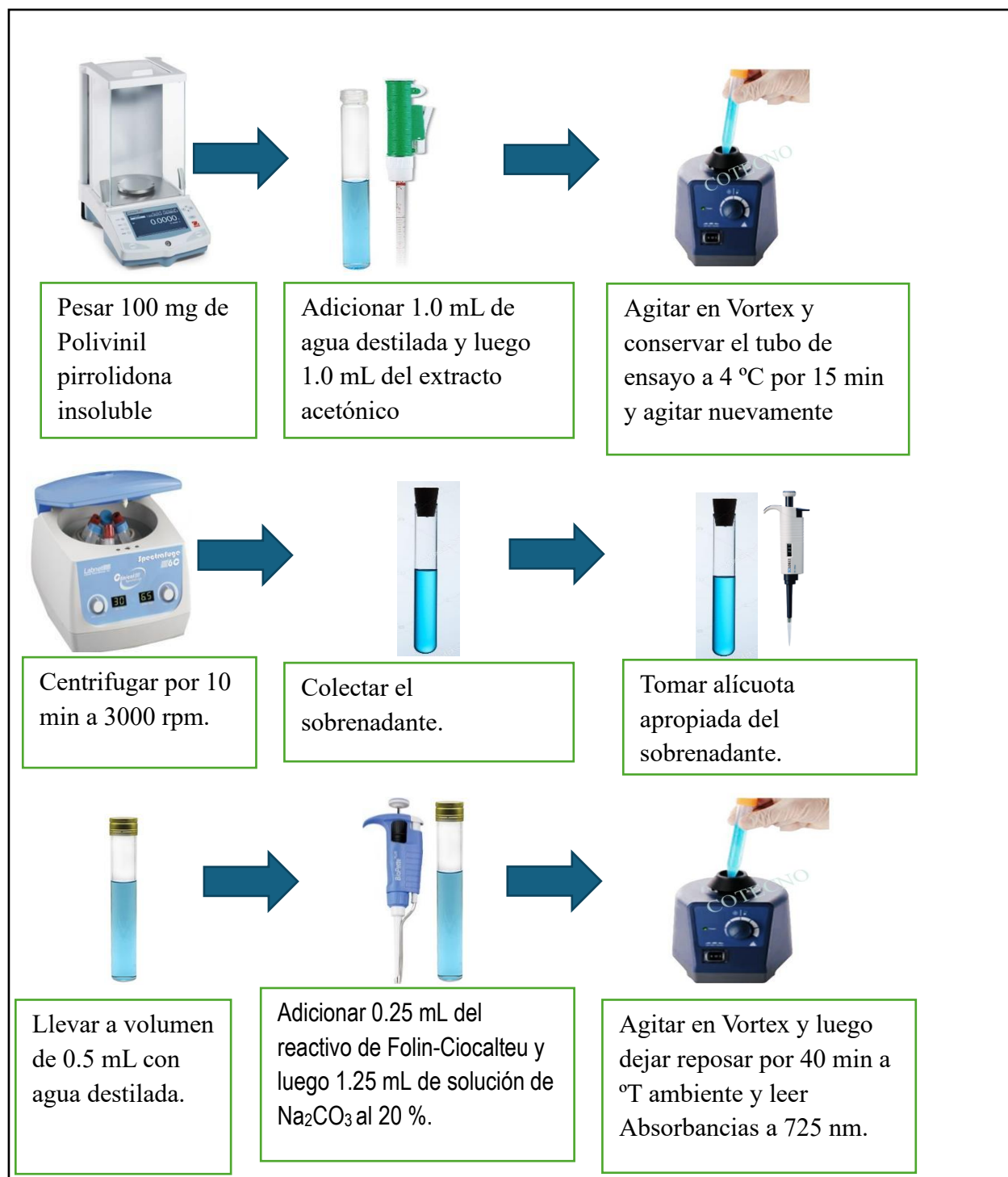


Figura N°22. Procedimiento para la remoción de taninos del extracto acetónico por el método de Folin- Ciocalteu modificado

Fuente: Elaboración propia basada en referencia ⁸.

ANEXO N°9

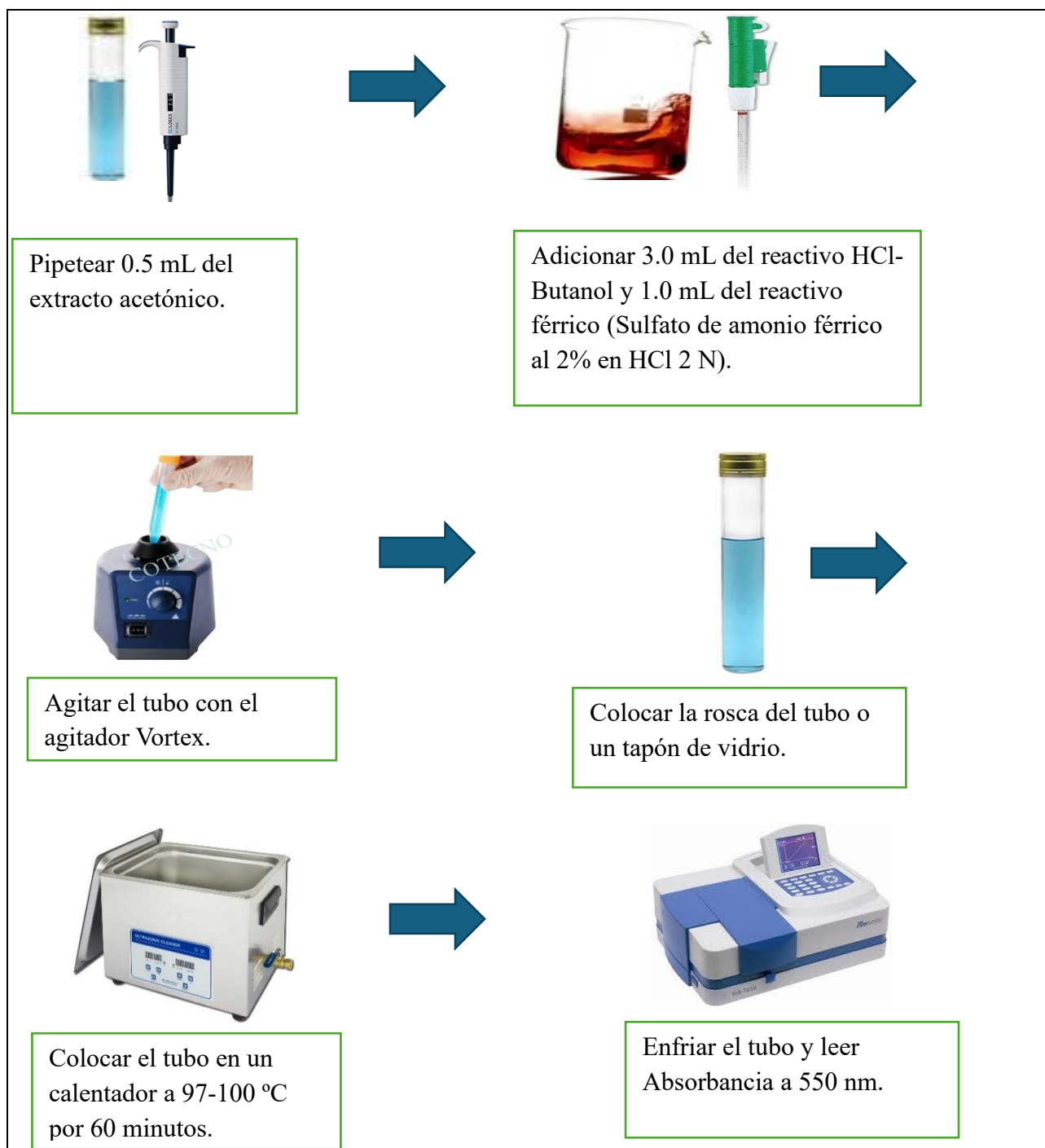


Figura N°23. Procedimiento para la cuantificación de taninos condensados por el método de proantocianidinas.

Fuente: Elaboración propia basada en referencia ⁸.

ANEXO N° 10
CÁLCULOS

Ejemplo de cálculos del porcentaje de Taninos Totales por el método de Folin-Ciocalteu Modificado

El procedimiento por seguir para este método se divide en dos partes. En la primera parte se procede con la cuantificación de los fenoles totales de las muestras secas de cada parte de la planta de cada una de las 6 líneas genéticas de sorgo, donde obtenemos X (%) que corresponde el porcentaje de fenoles totales en la muestra (es decir fenoles no taninicos y taninos totales).

En la segunda parte se realiza la remoción de taninos del extracto cetónico con Polivinil pirrolidona insoluble, quedando solo el porcentaje de fenoles no taninicos de la muestra cuyo valor lo denominamos Y (%). luego los porcentajes de ambas cuantificaciones se restan X-Y (%) y se obtiene el porcentaje de taninos totales presentes en la muestra.

Análisis para la cuantificación de fenoles totales

Fenoles totales = Fenoles totales no taninos + Taninos totales

Así $X (\%) = Y (\%) + \text{Taninos totales}$

Remoción de taninos del extracto a cetónico con PVPP:

$X (\%) = Y (\%) + \text{Taninos totales}$

Despejando tenemos:

$\text{Taninos totales} = X - Y (\%)$

Ejemplo de cálculo (ensayo:1 órgano de la planta: Hoja; línea genética: CSV015104bmrT)

Análisis para la cuantificación de fenoles totales (primera parte)

- **Datos:**

Alícuota tomada del extracto cetónico = 0.02 mL

Peso muestra ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 0.201 g

Materia seca ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 0.181 g

Absorbancia a 725 nm de la muestra ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 0.154

La ecuación de la línea recta obtenida en la curva de calibración es la siguiente:

$$Y = 0.0424X + 0.0048$$

Despejando X tenemos

$X = Y - 0.0048 / 0.0424$ donde Y es la Absorbancia obtenida de la muestra a 725 nm.

Así para el Ensayo 1 para la hoja de la variedad CSV015104bmrT

μg equivalentes de ácido tánico en la hoja = $0.154 - 0.0048 / 0.0424$

μg equivalentes de ácido tánico en la hoja = 3.519 μg equivalentes de ácido tánico.

0.02 mL (20 μL) de extracto da una Absorbancia de 0.154 = 3.519 μg equivalentes de ácido tánico

En 0.02 mL = $(3.519 \mu\text{g equivalentes de ácido tánico} / 0.02 \text{ mL}) / 1000 = 0.176 \text{ mg/mL}$ de ácido tánico.

Se extrajeron 0.201 g de muestra con 10 mL de solvente (acetona al 70%)

Para extraer 100 mg de muestra = $[(100 \text{ mg}) (10 \text{ mL solvente})] / 201.3 \text{ mg} = 4.967 \text{ mL}$ de solvente (acetona al 70%)

Por lo tanto, la cantidad de ácido tánico sería $(0.176 \text{ mg} / \text{mL}) (4.967 \text{ mL}) = 0.874 \text{ mg}$ de Ácido tánico.

Acido tánico en materia seca X (%) = $(0.874 \times 100) / 18.11 = 4.827\%$

Remoción de taninos del extracto cetónico (segunda parte)

Datos:

Alícuota tomada del extracto cetónico = 1.0 mL

Peso muestra ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 0.201 g

Materia seca ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 0.181 g

Absorbancia a 725 nm de la muestra ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 0.136

La ecuación de la línea recta obtenida en la curva de calibración es la siguiente:

$$Y = 0.0424X + 0.0048$$

Despejando X tenemos

$$X = (Y - 0.0048) / 0.0424 \text{ donde Y es la Absorbancia obtenida de la muestra a } 725 \text{ nm.}$$

Así para el Ensayo 1 para la hoja de la variedad CSV015104bmrT

$$\mu\text{g equivalentes de ácido tánico en la hoja} = 0.136 - 0.0048 / 0.0424$$

$$\mu\text{g equivalentes de ácido tánico en la hoja} = 3.094 \mu\text{g equivalentes de ácido tánico.}$$

0.02 mL (20 μ L) de extracto da una Absorbancia de 0.136 = 3.094 μ g equivalentes de ácido tánico

En 0.02 mL = (3.094 μ g equivalentes de ácido tánico / 0.02 mL) / 1000 = 0.154 mg/mL de ácido tánico.

Se extrajeron 0.2013 g de muestra con 10 mL de solvente (acetona al 70%)

Para extraer 100 mg de muestra = [(100 mg) (10 mL solvente)] / 201.3 mg = 4.967 mL de solvente (acetona al 70%)

Por lo tanto, la cantidad de ácido tánico sería (0.154 mg / mL) (4.967 mL) = 0.7686 mg de Ácido tánico.

$$\text{Acido tánico en materia seca Y (\%)} = (0.768 \times 100) / 18.11 = \mathbf{4.245\%}$$

Fenoles totales = Fenoles totales no taninicos + Taninos totales

$$\text{Así } X (\%) = Y (\%) + \text{Taninos totales}$$

Remoción de taninos del extracto cetónico con PVPP:

$$X (\%) = Y (\%) + \text{Taninos totales}$$

Despejando tenemos:

Taninos totales = X (%) – Y (%)

Taninos totales = 4.827% - 4.245%

Taninos totales = **0.582 %** en hoja de la variedad CSV015104bmrT

Ejemplo de Cálculos para la cuantificación de Taninos Condensados

$$\%TC = \frac{(\text{Absorbancia a 550 nm}) (78.26) (\text{Factor de dilución})}{(\%MS)}$$

Donde:

Absorbancia a 550 nm = Absorbancia de la muestra registrada a 550 nm

78.26 = Número de Stiasny

Factor de dilución = El Factor de dilución es igual a 1 si no se adiciona acetona al 70% al extracto que se elaboró con 200.0 mg de muestra en 10.0 mL de solvente, pero cuando se adiciona acetona al 70% el factor de dilución es 0.5 mL/ (Volumen de extracto tomado), esto con el fin que la absorbancia no exceda de 0.6.

%MS = Porcentaje de Materia Seca.

Ejemplo de cálculo (ensayo:1 órgano de la planta: Hoja; línea genética: CSV015104bmrT)

Análisis para la cuantificación de taninos condensados

Datos:

Factor de dilución = 0.5

% Materia seca ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 18.11%

Absorbancia a 550 nm de la muestra ensayo 1; hoja de la variedad CSV015104bmrT = 0.149

$$\%TC = \frac{(0.149) (78.26) (0.5)}{(18.11)}$$

%TC = 0.322 en hoja de la variedad CSV015104bmr

ANEXO N° 11

**FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS,
PROCESAMIENTO, TRATAMIENTO Y ANÁLISIS EN EL LABORATORIO.**



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

Figura N°24. Cultivos de sorgo: (a) CSV01504bmrT, (b) CSV01588bmrT, (c) CSV01591bmrT, (d) CSV01592bmrT, (e) CSV01594bmrT, (f) CENTA CF.

Fuente: Elaboración propia



Figura N°25. Recolección y tratamiento previo

Fuente: Elaboración propia

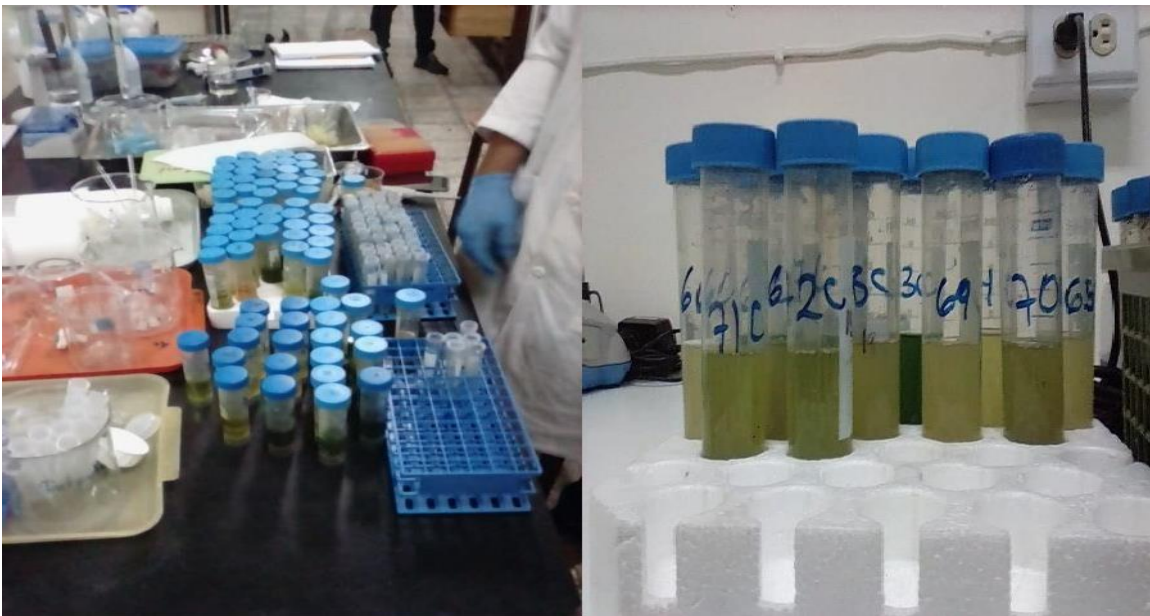


Figura N°26. Preparación del extracto acetonico de las diferentes muestras.

Fuente: Elaboración propia

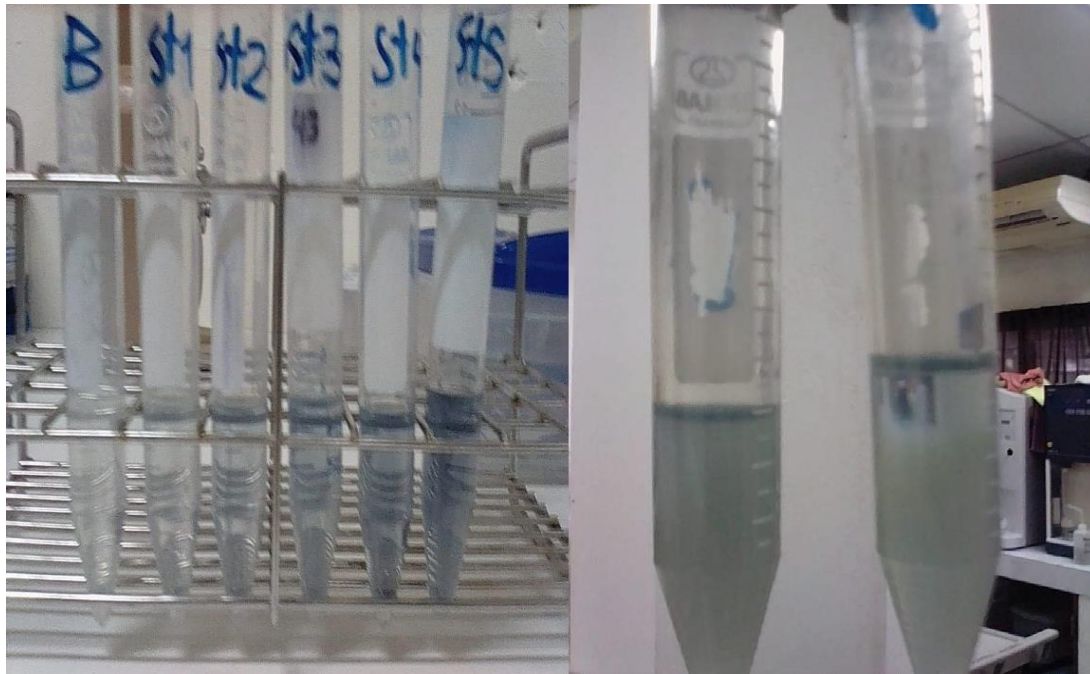


Figura N°27. Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin Ciocalteu modificado y Precipitación de taninos totales en el extracto acetónico.

Fuente: Elaboración propia



Figura N°28. Determinación de taninos condensados por el método de Proantocianidinas.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°12
RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE TANINOS TOTALES POR EL
MÉTODO DE FOLIN-CIOCALTEU MODIFICADO EN SEIS LÍNEAS
GENÉTICAS DE *Sorghumc bicolor* L. (SORGO).

Tabla N°8. Resultados de la cuantificación de taninos totales para la línea genética de sorgo CSV015104bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	Materia seca (g)	Abs de la muestra X	Concentración de la muestra X (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS X (%)	Abs de la muestra Y	Concentración de la muestra Y (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS Y (%)	Porcentaje de Taninos Totales X-Y (%)
CSV015104bmrT	Hoja	0.201	0.181	0.154	3.519	4.827	0.136	3.094	4.245	0.582
		0.203	0.181	0.181	4.156	5.664	0.167	3.825	5.214	0.450
		0.201	0.181	0.198	4.557	6.260	0.176	4.038	5.547	0.713
		PROMEDIO								
	Tallo	0.201	0.094	0.038	0.783	2.074	0.026	0.500	1.324	0.750
		0.202	0.094	0.066	1.443	3.809	0.059	1.278	3.374	0.436
		0.200	0.094	0.099	2.222	5.934	0.089	1.986	5.304	0.630
		PROMEDIO								
	Panoja	0.202	0.222	0.119	2.693	3.005	0.111	2.505	2.794	0.210
		0.205	0.222	0.074	1.632	1.797	0.064	1.396	1.537	0.260
		0.201	0.222	0.050	1.066	1.197	0.042	0.877	0.985	0.212
		PROMEDIO								
	Planta Completa	0.202	0.126	0.100	2.245	4.391	0.092	2.057	4.022	0.369
		0.205	0.126	0.203	4.675	9.035	0.178	4.085	7.895	1.140
		0.204	0.126	0.132	3.000	5.835	0.119	2.693	5.239	0.596
		PROMEDIO								
<p>Donde:</p> <p>X (%) = Porcentaje de Fenoles totales (% Fenoles no tanínicos + % Taninos totales)</p> <p>Y (%) = Porcentaje de Fenoles no tanínicos</p> <p>X - Y (%) = Porcentaje de Taninos totales</p>										

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°9. Resultados de la cuantificación de taninos totales para la línea genética de sorgo CSV015104bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	Materia seca (g)	Abs de la muestra X	Concentración de la muestra X (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS X (%)	Abs de la muestra Y	Concentración de la muestra Y (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS Y (%)	Porcentaje de Taninos Totales X-Y (%)
CSV01588bmrT	Hoja	0.201	0.205	0.200	4.604	5.585	0.186	4.274	5.184	0.401
		0.205	0.205	0.296	6.868	8.180	0.274	6.349	7.562	0.618
		0.202	0.205	0.254	5.877	7.105	0.199	4.580	5.537	1.568
	PROMEDIO									0.862
	Tallo	0.199	0.120	0.079	1.750	3.659	0.060	1.302	2.722	0.937
		0.203	0.120	0.065	1.420	2.912	0.057	1.231	2.525	0.387
		0.202	0.120	0.048	1.019	2.103	0.043	0.901	1.860	0.243
	PROMEDIO									0.522
	Panoja	0.205	0.253	0.217	5.005	4.824	0.201	4.627	4.460	0.364
		0.198	0.253	0.052	1.113	1.113	0.038	0.783	0.783	0.330
		0.205	0.253	0.207	4.769	4.596	0.180	4.132	3.983	0.614
	PROMEDIO									0.436
	Planta Completa	0.203	0.142	0.134	3.047	5.287	0.126	2.858	4.960	0.327
		0.201	0.142	0.062	1.349	2.368	0.057	1.231	2.161	0.207
		0.205	0.142	0.124	2.811	4.838	0.111	2.505	4.310	0.528
	PROMEDIO									0.354
<p>Donde:</p> <p>X (%) = Porcentaje de Fenoles totales (% Fenoles no tanínicos + % Taninos totales)</p> <p>Y (%) = Porcentaje de Fenoles no tanínicos</p> <p>X - Y (%) = Porcentaje de Taninos totales</p>										

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10. Resultados de la cuantificación de taninos totales para la línea genética de sorgo CSV01591bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	Materia seca (g)	Abs de la muestra X	Concentración de la muestra X (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS X (%)	Abs de la muestra Y	Concentración de la muestra Y (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS Y (%)	Porcentaje de Taninos Totales X-Y (%)
CSV01591bmrT	Hoja	0.203	0.180	0.242	5.594	7.644	0.233	5.382	7.354	0.290
		0.198	0.180	0.172	3.943	5.511	0.165	3.778	5.280	0.231
		0.201	0.180	0.253	5.854	8.087	0.245	5.665	7.826	0.261
		PROMEDIO								
	Tallos	0.202	0.131	0.042	0.877	1.661	0.039	0.807	1.527	0.134
		0.200	0.131	0.068	1.491	2.850	0.063	1.373	2.625	0.225
		0.202	0.131	0.022	0.406	0.765	0.021	0.382	0.720	0.044
		PROMEDIO								
	Panoja	0.200	0.237	0.148	3.377	3.569	0.141	3.212	3.394	0.174
		0.203	0.237	0.140	3.189	3.323	0.134	3.047	3.175	0.147
		0.200	0.237	0.122	2.764	2.921	0.115	2.599	2.746	0.174
		PROMEDIO								
	Planta Completa	0.200	0.142	0.097	2.175	3.820	0.090	2.009	3.530	0.290
		0.201	0.142	0.147	3.354	5.856	0.138	3.142	5.485	0.371
		0.203	0.142	0.172	3.943	6.831	0.164	3.755	6.504	0.327
		PROMEDIO								
<p>Donde:</p> <p>X (%) = Porcentaje de Fenoles totales (% Fenoles no tanínicos + % Taninos totales)</p> <p>Y (%) = Porcentaje de Fenoles no tanínicos</p> <p>X - Y (%) = Porcentaje de Taninos totales</p>										

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°11. Resultados de la cuantificación de taninos totales para la línea genética de sorgo CSV01594bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	Materia seca (g)	Abs de la muestra X	Concentración de la muestra X (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS X (%)	Abs de la muestra Y	Concentración de la muestra Y (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS Y (%)	Porcentaje de Taninos Totales X-Y (%)
CSV01592bmrT	Hoja	0.200	0.212	0.239	5.524	6.513	0.230	5.311	6.263	0.250
		0.199	0.212	0.283	6.561	7.791	0.266	6.160	7.315	0.476
		0.202	0.212	0.265	6.137	7.182	0.255	5.901	6.906	0.276
	PROMEDIO									0.334
	Tallo	0.204	0.144	0.172	3.943	6.712	0.162	3.708	6.311	0.401
		0.199	0.144	0.163	3.731	6.491	0.149	3.401	5.917	0.574
		0.203	0.144	0.168	3.849	6.574	0.160	3.660	6.252	0.322
	PROMEDIO									0.432
	Panoja	0.203	0.268	0.094	2.104	1.935	0.086	1.915	1.762	0.174
		0.200	0.268	0.170	3.896	3.629	0.166	3.802	3.541	0.088
		0.202	0.268	0.126	2.858	2.643	0.116	2.623	2.425	0.218
	PROMEDIO									0.160
	Planta Completa	0.201	0.196	0.185	4.250	5.412	0.175	4.014	5.111	0.300
		0.201	0.196	0.187	4.297	5.472	0.178	4.085	5.201	0.270
		0.205	0.196	0.186	4.274	5.341	0.181	4.156	5.193	0.147
	PROMEDIO									0.239
Donde: X (%) = Porcentaje de Fenoles totales (% Fenoles no tanínicos + % Taninos totales) Y (%) = Porcentaje de Fenoles no tanínicos X - Y (%) = Porcentaje de Taninos totales										

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°12. Resultados de la cuantificación de taninos totales para la línea genética de sorgo CSV01594bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	Materia seca (g)	Abs de la muestra X	Concentración de la muestra X (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS X (%)	Abs de la muestra Y	Concentración de la muestra Y (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS Y (%)	Porcentaje de Taninos Totales X-Y (%)
CSV01594bmrT	Hoja	0.205	0.194	0.252	5.830	7.341	0.243	5.618	7.074	0.267
		0.201	0.194	0.251	5.807	7.453	0.240	5.547	7.120	0.333
		0.200	0.194	0.261	6.042	7.783	0.237	5.476	7.054	0.729
		PROMEDIO								
	Tallo	0.205	0.131	0.113	2.552	4.738	0.109	2.458	4.563	0.175
		0.204	0.131	0.152	3.472	6.481	0.150	3.425	6.393	0.088
		0.202	0.131	0.162	3.708	6.982	0.159	3.637	6.849	0.133
		PROMEDIO								
	Panoja	0.204	0.250	0.083	1.844	1.810	0.070	1.538	1.509	0.301
		0.202	0.250	0.067	1.467	1.453	0.055	1.184	1.172	0.280
		0.203	0.250	0.119	2.693	2.650	0.108	2.434	2.395	0.255
		PROMEDIO								
	Planta Completa	0.200	0.127	0.180	4.132	8.139	0.172	3.943	7.768	0.372
		0.199	0.127	0.111	2.505	4.966	0.103	2.316	4.592	0.374
		0.200	0.127	0.120	2.717	5.349	0.111	2.505	4.931	0.418
		PROMEDIO								

Donde:

X (%) = Porcentaje de Fenoles totales (% Fenoles no tanínicos + % Taninos totales)

Y (%) = Porcentaje de Fenoles no tanínicos

X - Y (%) = Porcentaje de Taninos totales

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°13. Resultados de la cuantificación de taninos totales para la línea genética de sorgo CENTA CF.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	Materia seca (g)	Abs de la muestra X	Concentración de la muestra X (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS X (%)	Abs de la muestra Y	Concentración de la muestra Y (ácido tánico µg)	Ácido tánico en MS Y (%)	Porcentaje de Taninos Totales X-Y (%)
CENTA CF	Hoja	0.201	0.121	0.206	4.745	9.809	0.165	3.778	7.811	1.999
		0.200	0.121	0.213	4.910	10.161	0.171	3.920	8.111	2.050
		0.201	0.121	0.232	5.358	11.028	0.190	4.368	8.989	2.039
		PROMEDIO								
	Tallo	0.202	0.157	0.171	3.920	6.172	0.112	2.528	3.981	2.191
		0.201	0.157	0.167	3.825	6.041	0.088	1.962	3.099	2.942
		0.204	0.157	0.200	4.604	7.167	0.091	2.033	3.165	4.002
		PROMEDIO								
	Panoja	0.204	0.268	0.219	5.052	4.624	0.182	4.179	3.825	0.799
		0.205	0.268	0.188	4.321	3.928	0.160	3.660	3.327	0.600
		0.203	0.268	0.145	3.307	3.041	0.111	2.505	2.304	0.738
		PROMEDIO								
	Planta Completa	0.201	0.207	0.156	3.566	4.274	0.107	2.410	2.889	1.385
		0.202	0.207	0.152	3.472	4.148	0.105	2.363	2.824	1.324
		0.203	0.207	0.154	3.519	4.180	0.102	2.292	2.723	1.457
		PROMEDIO								
<p>Donde:</p> <p>X (%) = Porcentaje de Fenoles totales (% Fenoles no tanínicos + % Taninos totales)</p> <p>Y (%) = Porcentaje de Fenoles no tanínicos</p> <p>X - Y (%) = Porcentaje de Taninos totales</p>										

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°13

RESULTADOS DE CURVA DE CALIBRACIÓN DE ÁCIDO TÁNICO

Tabla N°14. Curva de calibración

Curva de calibración		
ESTANDAR	Concentración de ácido Tánico (µg)	Abs 725 nm
blanco	0	0.000
Std 1	2	0.096
Std 2	4	0.172
Std 3	6	0.262
Std 4	8	0.344
Std 5	10	0.427

Fuente: Elaboración propia

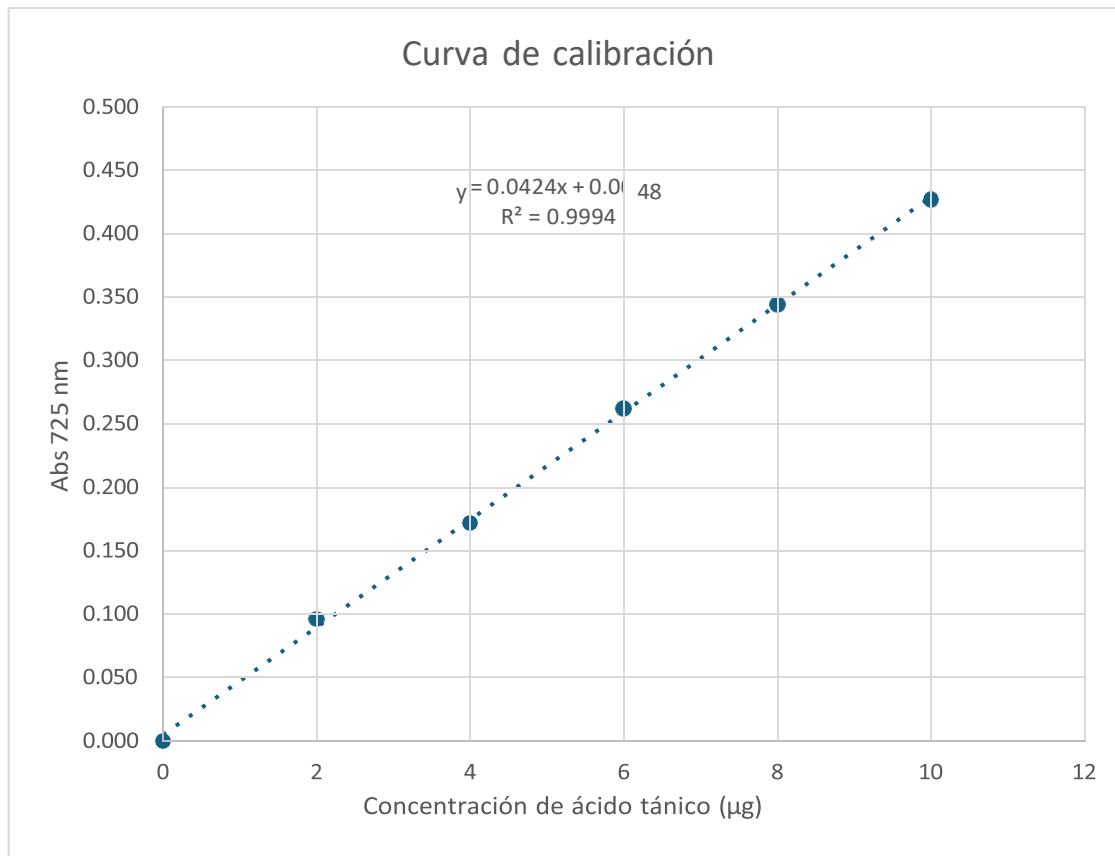


Figura N°29. Curva de calibración

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 14

**RESULTADOS Y CÁLCULOS DE LA PRUEBA F PARA EL ANÁLISIS DE
VARIANZA AL 95% DE CONFIANZA DE LAS MUESTRAS PARA LA
CUANTIFICACIÓN DE TANINOS TOTALES EN SEIS LÍNEAS GENÉTICAS DE
Sorghum bicolor L. (SORGO).**

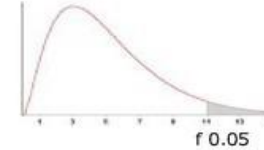
Tabla N°15. Prueba F para el análisis de varianza al 95% de confianza

RESUMEN	CSV015104bmr	CSV01588bmr	CSV01591bmr	CSV01592bmr	CSV01594bmr	CENTA CF	TOTAL
	T	T	T	T	T		
<i>Hoja</i>							
Muestras	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	18.000
Suma	1.745	2.587	0.781	1.002	1.329	6.087	13.532
Promedio	0.582	0.862	0.260	0.334	0.443	2.029	0.752
Desviación típica	0.131	0.621	0.030	0.124	0.250	0.027	1.182
Varianza	0.017	0.385	0.001	0.015	0.062	0.001	0.442
<i>Tallo</i>							
Muestras	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	18.000
Suma	1.815	1.567	0.404	1.298	0.396	9.135	14.616
Promedio	0.605	0.522	0.135	0.433	0.132	3.045	0.812
Desviación típica	0.158	0.366	0.091	0.129	0.044	0.910	1.697
Varianza	0.025	0.134	0.008	0.017	0.002	0.828	1.210
<i>Panoja</i>							
Muestras	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	18.000
Suma	0.682	1.307	0.496	0.479	0.836	2.137	5.938
Promedio	0.227	0.436	0.165	0.160	0.279	0.712	0.330
Desviación típica	0.028	0.155	0.016	0.066	0.023	0.102	0.389
Varianza	0.001	0.024	0.000	0.004	0.001	0.010	0.045
<i>Planta Completa</i>							
Muestras	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	18.000
Suma	2.105	1.062	0.987	0.718	1.164	4.166	10.202
Promedio	0.702	0.354	0.329	0.239	0.388	1.389	0.567

Desviación típica	0.396	0.162	0.040	0.081	0.026	0.066	0.772
Varianza	0.157	0.026	0.002	0.007	0.001	0.004	0.188
Total							
Muestras	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	
Suma	6.347	6.523	2.669	3.498	3.726	21.525	
Promedio	0.529	0.544	0.222	0.292	0.310	1.794	
Varianza	0.072	0.144	0.008	0.019	0.027	0.959	

Fuente: Elaboración propia

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)



área a la derecha del valor crítico = 0,05

g.d.l.	Grados de libertad del Numerador															g.d.l.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	inf.

Figura N°30. Tabla de valores críticos de la Distribución F al 95% de confianza

ANEXO N°15

**RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE TANINOS CONDENSADOS
POR EL MÉTODO DE PROANTOCIANIDINAS EN SEIS LÍNEAS
GENÉTICAS DE *Sorghum bicolor* L. (SORGO).**

Tabla N°16. Resultados de la cuantificación de taninos condensados para la línea genética de sorgo CSV015104bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	%Materia Seca	Abs de la muestra (550nm)	%Taninos Condensados
CSV015104bmrT	Hoja	0.201	18.108	0.149	0.322
		0.203	18.108	0.178	0.385
		0.201	18.108	0.168	0.363
					PROMEDIO
	Tallo	0.201	9.379	0.027	0.113
		0.202	9.379	0.031	0.129
		0.200	9.379	0.026	0.108
					PROMEDIO
	Panoja	0.202	22.177	0.112	0.198
		0.205	22.177	0.138	0.243
		0.201	22.177	0.114	0.201
					PROMEDIO
	Planta Completa	0.202	12.631	0.116	0.359
		0.205	12.631	0.108	0.335
		0.204	12.631	0.112	0.347
					PROMEDIO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°17. Resultados de la cuantificación de taninos condensados para la línea genética de sorgo CSV01588bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	%Materia seca	Abs de la muestra (550nm)	%Taninos Condensados
CSV01588bmrT	Hoja	0.201	20.497	0.152	0.290
		0.205	20.497	0.218	0.416
		0.202	20.497	0.203	0.388
					PROMEDIO
	Tallo	0.199	11.993	0.021	0.069
		0.203	11.993	0.017	0.055
		0.202	11.993	0.015	0.049
					PROMEDIO
	Panoja	0.205	25.306	0.225	0.348
		0.198	25.306	0.198	0.306
		0.205	25.306	0.253	0.391
					PROMEDIO
	Planta Completa	0.203	14.174	0.085	0.235
		0.201	14.174	0.056	0.155
		0.205	14.174	0.081	0.224
					PROMEDIO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°18. Resultados de la cuantificación de taninos condensados para la línea genética de sorgo CSV01591bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	%Materia seca	Abs de la muestra (550nm)	%Taninos Condensados
CSV01591bmrT	Hoja	0.203	18.043	0.101	0.219
		0.198	18.043	0.100	0.217
		0.201	18.043	0.103	0.223
					PROMEDIO
	Tallo	0.202	13.107	0.013	0.039
		0.200	13.107	0.015	0.045
		0.202	13.107	0.011	0.033
					PROMEDIO
	Panoja	0.200	23.661	0.095	0.157
		0.203	23.661	0.092	0.152
		0.200	23.661	0.098	0.162
					PROMEDIO
	Planta Completa	0.200	14.246	0.059	0.162
		0.201	14.246	0.061	0.168
		0.203	14.246	0.064	0.176
					PROMEDIO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°19. Resultados de la cuantificación de taninos condensados para la línea genética de sorgo CSV01592bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	%Materia seca	Abs de la muestra (550nm)	%Taninos Condensados
CSV01592bmrT	Hoja	0.200	21.160	0.117	0.216
		0.199	21.160	0.145	0.268
		0.202	21.160	0.147	0.272
					PROMEDIO
	Tallo	0.204	14.434	0.031	0.084
		0.199	14.434	0.033	0.089
		0.203	14.434	0.040	0.108
					PROMEDIO
	Panoja	0.203	26.828	0.048	0.070
		0.200	26.828	0.064	0.093
		0.202	26.828	0.067	0.098
					PROMEDIO
	Planta Completa	0.201	19.565	0.068	0.136
		0.201	19.565	0.061	0.122
		0.205	19.565	0.063	0.126
					PROMEDIO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°20. Resultados de la cuantificación de taninos condensados para la línea genética de sorgo CSV01594bmrT.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	%Materia seca	Abs de la muestra (550nm)	%Taninos Condensados
CSV01594bmrT	Hoja	0.205	19.371	0.049	0.099
		0.201	19.371	0.045	0.091
		0.200	19.371	0.064	0.129
					PROMEDIO
	Tallo	0.205	13.137	0.023	0.069
		0.204	13.137	0.026	0.077
		0.202	13.137	0.019	0.057
					PROMEDIO
	Panoja	0.204	25.011	0.163	0.255
		0.202	25.011	0.125	0.196
		0.203	25.011	0.123	0.192
					PROMEDIO
	Planta Completa	0.200	12.673	0.037	0.114
		0.199	12.673	0.024	0.074
		0.200	12.673	0.024	0.074
					PROMEDIO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°21. Resultados de la cuantificación de taninos condensados para la línea genética de sorgo CENTA CF.

Línea genética	Parte de la planta	Peso muestra (g)	%Materia seca	Abs de la muestra (550nm)	%Taninos Condensados
CENTA CF	Hoja	0.201	12.064	0.153	0.496
		0.200	12.064	0.155	0.503
		0.201	12.064	0.179	0.581
					PROMEDIO
	Tallo	0.202	15.729	0.007	0.017
		0.201	15.729	0.013	0.032
		0.204	15.729	0.010	0.025
					PROMEDIO
	Panoja	0.204	26.831	0.218	0.318
		0.205	26.831	0.160	0.233
		0.203	26.831	0.148	0.216
					PROMEDIO
	Planta Completa	0.201	20.747	0.086	0.162
		0.202	20.747	0.087	0.164
		0.203	20.747	0.077	0.145
					PROMEDIO

Fuente: Elaboración propia