

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Bioquímica y Farmacia

Desarrollo de un patrón secundario en base de arroz para el análisis proximal

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Bioquímico
Farmacéutico

Autores:

Juan Patricio Deleg Juela

Dennis Katherine Mora Campoverde

Directora:

Silvia Johana Ortiz Ulloa

ORCID: 0000-0002-7171-7135

Cuenca, Ecuador

2023 -03-16

Resumen

El control de calidad dentro de los laboratorios se realiza con el propósito de asegurar que los resultados obtenidos sean confiables y cumplan con los estándares de calidad para cada método analítico. Para realizar el control de calidad se emplean sustancias patrón primarios o secundarios. Los patrones primarios presentan como desventaja su elevado costo y accesibilidad limitada, por lo que se desarrollan patrones secundarios para superar estos inconvenientes. El objetivo de este trabajo de titulación fue desarrollar un patrón secundario en base de arroz que sirva como referencia para las marchas analíticas de rutina de análisis proximal. Se analizaron 15 réplicas por cada parámetro y el coeficiente de variación fue menor al 15% en todos los casos. Con los resultados obtenidos se construyeron las gráficas de Levey-Jennings para cada parámetro, lo cual servirá de referencia para futuros análisis. Para la interpretación de las gráficas se utilizaron las reglas de Westgard que permiten evaluar errores sistemáticos en el proceso analítico. Finalmente, en este trabajo se planteó un ejemplo de la aplicación de las gráficas de Levey-Jennings y las reglas de Westgard, usando los valores de las réplicas como si fueran muestras. Con esta base, las variaciones observadas en los valores de cenizas y de grasas violaron la regla 1_{2s} que, al ser una regla de advertencia, no sugiere el rechazo de la serie. Por otro lado, las gráficas para humedad, materia seca y proteínas cumplieron con las reglas, lo que indicó que los procesos analíticos empleados fueron realizados con alta precisión.

Palabras clave: control calidad, patrón secundario, arroz, gráficas de Levey-Jennings, reglas de Westgard

Abstract

Quality control in laboratories is performed to ensure that the results obtained are reliable and meet the quality standards for each analytical method. To perform quality control, primary or secondary standard substances are used. The disadvantages of primary standards are their high cost and limited accessibility, so secondary standards are developed to overcome these drawbacks. The objective of this degree work was to develop a rice-based secondary standard to serve as a reference for routine analytical runs of proximate analysis. Fifteen replicates were analyzed for each parameter, and the coefficient of variation was less than 15% in all cases. With the results obtained, Levey-Jennings plots were constructed for each parameter, which will serve as a reference for future analyses. For the interpretation of the graphs, the Westgard rules were used to evaluate systematic errors in the analytical process. Finally, an example of the application of the Levey-Jennings graphs and the Westgard rules was presented in this work, using the values of the replicates as if they were samples. On this basis, the variations observed in the ash and fat values violated the 12s rule which, being a warning rule, does not suggest the rejection of the series. On the other hand, the graphs for moisture, dry matter and protein complied with the rules, indicating that the analytical processes employed were performed with high precision.

Keywords: quality control, secondary standard, rice, Levey-Jennings graphs, Westgard rules

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract	3
Índice de contenido	4
Dedicatoria	10
Agradecimientos	12
Introducción	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
1. Marco teórico	15
1.1. Metrología	15
1.2. Sustancias patrón o de referencia	16
1.2.1. Patrones primarios	16
1.2.2. Patrones secundarios	16
1.3. Control interno de calidad de datos	17
1.3.1. Precisión	17
1.3.2. Desviación estándar	18
1.3.3. Coeficiente de variación	19
1.3.4. Errores analíticos	19
1.3.4.1. Errores sistemáticos	20
1.3.4.2. Errores aleatorios	20
1.4. Gráficos de control de calidad	21
1.4.1. Gráficas de Levey - Jennings	21
1.5. Reglas de Westgard	22
1.6. Arroz como matriz alimentaria	25
1.6.1. Procesamiento del arroz	25
1.6.2. Estructura del arroz	26
1.6.3. Clasificación	27
1.6.4. Composición química del arroz crudo	27
1.6.5. Lípidos	29
1.6.6. Proteínas	30
1.6.7. Carbohidratos	31
1.7. Factores que alteran la estabilidad del arroz	31
1.7.1. Alteraciones físicas	31
1.7.2. Alteraciones químicas	32
1.7.2.1. Carbohidratos	32
1.7.2.2. Lípidos	32
1.7.2.3. Proteínas	33
2. Metodología	35

2.1. Tipo de estudio	35
2.2. Descripción de la muestra	35
2.3. Materiales y equipos	35
2.4. Procedimientos analíticos	36
2.5. Análisis proximal	36
2.5.1. Determinación de humedad	36
2.5.1.1. Fundamento	36
2.5.1.2. Procedimiento	36
2.5.1.3. Cálculos de humedad y contenido de materia seca	37
2.5.2. Determinación de cenizas	38
2.5.2.1. Fundamento	38
2.5.2.2. Procedimiento	38
2.5.2.3. Cálculos de contenido de cenizas	39
2.5.3. Determinación de grasas totales	40
2.5.3.1. Fundamento	40
2.5.3.2. Procedimiento	40
2.5.3.3. Cálculo contenido de grasa total	42
2.5.4. Determinación de proteínas totales	42
2.5.4.1. Fundamento	42
2.5.4.2. Procedimiento	43
2.5.4.3. Cálculo contenido de proteínas	44
2.5.5. Determinación de carbohidratos	44
2.5.5.1. Fundamento	44
2.5.5.2. Cálculo de contenido de carbohidratos	44
2.6. Análisis estadístico	44
3. Resultados y discusión	46
3.1. Análisis proximal del arroz como patrón secundario	46
3.2. Gráficas de Levey-Jennings	52
4. Conclusiones y recomendaciones	53
4.1. Conclusiones	53
4.2. Recomendaciones	53
Referencias	55
Anexos	61

Índice de figuras

Figura 1.	Gráfica de Levey - Jennings	22
Figura 2.	Representación de la aplicación de las Reglas de Westgard	23
Figura 3.	Violaciones a las Reglas de Westgard	24
Figura 4.	Procedimiento para la determinación de humedad y materia seca	37
Figura 5.	Procedimiento para la determinación de cenizas	39
Figura 6.	Procedimiento para la determinación de grasas totales	41
Figura 7.	Procedimiento para la determinación de proteínas	43
Figura 8.	Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de humedad	48
Figura 9.	Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de materia seca	48
Figura 10.	Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de cenizas	49
Figura 11.	Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de grasas totales	49
Figura 12.	Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de proteínas	50

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Desviación estándar	19
Ecuación 2. Coeficiente de variación	19
Ecuación 3. Error total	20
Ecuación 4. Cálculo del peso de la muestra desecada	38
Ecuación 5. Cálculo de materia seca	38
Ecuación 6. Cálculo del porcentaje de humedad	38
Ecuación 7. Cálculo del peso de la ceniza	40
Ecuación 8. Cálculo del contenido de ceniza	40
Ecuación 9. Cálculo del contenido de grasas totales	42
Ecuación 10. Cálculo del contenido de proteínas totales	44
Ecuación 11. Cálculo del contenido de carbohidratos totales	44

Índice de tablas

Tabla 1.	Interpretación de las reglas de Westgard	25
Tabla 2.	Composición nutricional en las diferentes clases de arroz	28
Tabla 3.	Materiales y equipos utilizados	35
Tabla 4.	Resultados generales del análisis proximal del arroz crudo, expresados como media (X), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (%CV)	46

Índice de anexos

Anexo A. Resultados analíticos de la humedad y materia seca en arroz crudo	61
Anexo B. Resultados analíticos del contenido de cenizas en arroz crudo	62
Anexo C. Resultados analíticos del contenido de grasas totales en arroz crudo	63
Anexo D. Resultados analíticos del contenido de proteínas totales en arroz crudo	64
Anexo E. Resultados analíticos de carbohidratos totales en arroz crudo	65

Dedicatoria

A Dios, por brindarme fortaleza y sabiduría cada día de mi vida y permitirme llegar a este momento y por todas las bendiciones que cada día recibo.

A mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional y estar conmigo en los momentos malos y buenos. A mi mami, Mariela por su arduo trabajo, madrugadas y desvelos, por ser mi guía en cada pasa que doy y formarme en la persona que soy hoy en día, por ser el ejemplo del amor más puro y sincero que tengo en mi vida, pero sobre todo por ser mi heroína y demostrarme que Dios siempre da sus batallas más duras a sus mejores guerreros, por enseñarme a afrontar las dificultades y construir mis alas para poder volar, por dar todo y más cada día de mi vida sin pedir nada a cambio. A mi papi, Nestor por cuidarme en todo momento, por motivarme a seguir adelante a pesar de las dificultades, por siempre estar pendiente de mí y hacerme sentir que en cualquier lugar que este siempre me acompaña, por todo lo que hace por mi día a día y por todo su apoyo y amor infinito.

A mis abuelitos, Griselda y Segundo por ser un ejemplo de vida, por enseñarme que nunca es tarde para cumplir nuestros sueños y por toda la sabiduría de sus consejos.

A mi primo, Franklin por ser como mi hermano menor, por ser mi compañero de viajes, paseos, comidas, llantos y risas, por confiar en mí, por ser la persona con la que siempre puedo contar, que me levanta los ánimos y está ahí para escucharme siempre. A mi tía por su apoyo y cariño, por siempre ayudarme cuando tengo problemas y cuidarme en todo momento.

A mis tíos en general por ser un apoyo incondicional durante toda esta etapa de mi vida, por siempre confiar en mí, por sus palabras de aliento y consejos en cada momento.

A mis primos Tuyet, Jeison y Yaritza por ser mis pequeños angelitos que me han dado tantos momentos bellos y me han sacado demasiadas sonrisas con su dulzura.

A toda mi familia quienes estuvieron siempre apoyándome durante este proceso. A mi mejor amiga Gabriela por ser la que ha estado ahí desde el principio hasta el final por ser mi apoyo y compañía siempre. A mis amigas de la Universidad que durante todo este proceso siempre estuvieron acompañándome con sus risas, consejos y buenas vibras. A mi compañero de tesis por ser mi apoyo y por todas las anécdotas durante este proceso.

Dennis Katherine Mora Campoverde

A mis Padres, María Juela y José Déleg por ser mi modelo a seguir y por estar siempre cuando más los he necesitado. Por enseñarme que por más difícil que sea el obstáculo se debe luchar hasta cumplir con nuestros objetivos. Especialmente a mi madre por ser una mujer fuerte de carácter y jamás acobardarse ante los problemas, siempre estaré orgulloso de ser su hijo.

A mis hermanos, Ángel, Daniel, Manuel, Mercedes, Rosa, Jesús, Miguel, Luis, por ser el apoyo y demostrarme que cuando se esfuerza se llega a las metas. Por aportar con un granito de arena para que pueda continuar estudiando y enseñarme que a la familia siempre se le apoya.

A mi hermana, Martha, por estar presente dando motivación para poder continuar y darme consejos para que sea una mejor persona, por el apoyo emocional y económico que me ha dado.

A mi cuñado, Fabian Fajardo, por ser un padre más para mí, por acogerme en su hogar y ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación.

A mi sobrino, Andrés Montero, por ser como mi hermano menor que me genera admiración y me demuestra que una persona puede ser madura y buena persona sin importar lo años que tengas.

A mi novia, por ser mi motivo para seguir superando y por estar en mis momentos más difíciles, por haberse quedado en los momentos más difíciles y que sepa que siempre le llevo presente en mi corazón.

A mi amigo, Jonnathan Calle, por ser una persona ejemplo de dedicación y esfuerzo, por ser mi compañía y mi apoyo en todo momento de mi carrera.

A todos mis amigos y familiares que siempre me estuvieron apoyando en mi carrera profesional.

Juan Patricio Deleg Juela

Agradecimientos

Agradecer a Dios por la oportunidad de cumplir nuestro sueño profesional, por brindarnos salud, vida y perseverancia durante todo este trayecto. Por ser nuestra fuerza y motor para culminar nuestras metas.

Nuestro agradecimiento más sincero y grato a la Dra. Johana Ortiz, directora de este trabajo de titulación, por su compromiso y dedicación durante todo este tiempo, por ser nuestra guía y apoyo para alcanzar nuestra meta profesional.

A la Dra. Michelle Castro, por compartir todos sus conocimientos con nosotros, por la paciencia que nos tuvo para enseñarnos y su valioso tiempo empleado en el desarrollo de este trabajo de titulación.

Además, queremos agradecer al Laboratorio de Alimentos y Nutrición, del Departamento de Biociencias de la Universidad de Cuenca, por brindarnos la oportunidad de desarrollar toda la fase experimental de nuestro trabajo de titulación y a la Universidad de Cuenca por acogernos durante todos estos años y darnos la oportunidad de formarnos profesionalmente.

Patricio Deleg y Katherine Mora

Introducción

En la actualidad, los laboratorios de análisis usualmente implementan sistemas de gestión de calidad para las diferentes determinaciones analíticas realizadas, considerando que su principal objetivo es proporcionar resultados analíticos exactos y fiables que aseguren la calidad de los procedimientos empleados. Un sistema de gestión de calidad comprende todas las actividades que se llevan a cabo para garantizar la calidad de un determinado proceso analítico registrado bajo condiciones específicas (Albetkova et al., 2016). El control de calidad juega un rol fundamental dentro del laboratorio, encargándose de vigilar todas las actividades relacionadas con la fase de análisis de la muestra con la finalidad de identificar, evaluar y corregir errores que puedan presentarse como consecuencia de fallos en el método analítico. Estos fallos pueden originarse por parte del operador o de las condiciones analíticas establecidas (Condori & Morales, 2012; Albetkova et al., 2016; Fernández & Mazziotta, 2005).

El control de calidad se centra en analizar las sustancias conocidas de referencia o control (sustancias patrón) junto con las muestras de estudio para asegurar que los resultados sean fiables y cumplan con los estándares de precisión y exactitud establecidos para cada método analítico (Albetkova et al., 2016). Dentro de un laboratorio se utilizan sustancias patrón en las diferentes marchas analíticas con el propósito de determinar la concentración de una sustancia presente en una muestra. Debido a las características y finalidad que presentan estas sustancias patrón se dividen en patrones primarios y secundarios. Los patrones primarios poseen un alto grado de pureza y son la base para obtener una estandarización exitosa, por esta razón se utilizan como sustancias de elección en estudios analíticos. Sin embargo, existen algunos limitantes al momento de trabajar con estas sustancias. Uno de estos limitantes es su costo elevado, en cuanto a su disponibilidad en el caso de los alimentos, su accesibilidad es limitada, por lo que la mayoría de las industrias prefieren trabajar con patrones secundarios (García, 2006). Los patrones secundarios, al igual que el patrón primario, son sustancias de concentración conocida, la cual es establecida en el laboratorio al emplear un patrón primario y un método analítico confiable. Su composición debe permanecer estable por un largo periodo de tiempo de manera que pueda ser utilizado como un control de calidad en las diferentes marchas analíticas realizadas dentro del laboratorio (García, 2006).

El presente trabajo de titulación se enfoca en el desarrollo de un patrón secundario en base de arroz para análisis proximal, que pueda ser utilizado como sustancia de referencia en posteriores marchas analíticas enfocadas a la producción de datos de composición de

alimentos que cumplan con los estándares de calidad requeridos, así como para realizar un control de calidad interno del laboratorio (Greenfield & Southgate, 2003).

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un patrón secundario en base de arroz para análisis proximal mediante análisis bromatológico.

Objetivos Específicos

- Determinar el contenido de humedad, cenizas, proteínas totales, grasas totales y carbohidratos totales de arroz crudo a ser utilizado como estándar secundario.
- Elaborar gráficas de control de Levey-Jennings a partir de los resultados analíticos obtenidos.

1. Marco teórico

1.1. Metrología

La Metrología se define como la ciencia de la medición que engloba diferentes determinaciones experimentales y teóricas a distintos niveles de incertidumbre, independientemente del área de la ciencia y tecnología en la que se aplique (Escamilla, 2014).

Para obtener un sistema integral de calibrado es necesario realizar pruebas, medidas y ensayos en diferentes laboratorios de metrología, basados en procedimientos validados que permitan la calibración de diferentes instrumentos de medida y de diferentes equipos de ensayo (Moro, 2000). En un laboratorio de metrología se encuentran diferentes dispositivos, equipos de medida, materiales y patrones de referencia, que permiten la calibración y verificación de instrumentos de medida, de acuerdo con la rama de la ciencia en la que se trabaje. El objetivo de estos laboratorios es que, en las mediciones, calibraciones o verificaciones en cualquiera de sus campos, los cambios ambientales puedan ser controlados y normalizados para asegurar que no existan factores externos que alteren los resultados y garantizar la repetibilidad en cualquier laboratorio (Restrepo, 2007; Moro, 2000).

La metrología cumple distintas funciones dependiendo el área en la que se trabaje, lo que permite clasificar la metrología en diferentes tipos:

- ***Metrología científica***

Este tipo de metrología se encarga de mantener en vigencia los patrones nacionales y los sistemas equivalentes para todas las unidades de medida legales en cada país. La metrología científica tiene una aplicación a nivel internacional, siendo su objetivo esencial el de investigar, reproducir y conservar (Cardenas, 2011; Restrepo, 2007).

- ***Metrología industrial***

La metrología industrial se encarga de proveer una base técnica de precisión que se adapta a sus necesidades permitiendo la calibración, comprobación y verificación de sus dispositivos de medida y control (Restrepo, 2007)

- ***Metrología legal***

La metrología legal permite mantener un control de las diferentes técnicas metodológicas e instrumentos de medida que se utilizan en las diferentes actividades que tengan influencia directa o indirecta sobre el consumidor con el fin de asegurar su protección (Restrepo, 2007).

1.2. Sustancias patrón o de referencia

Una sustancia patrón se caracteriza por presentar propiedades bien definidas a través de procesos físicos o químicos estandarizados y es utilizada como material de referencia para métodos gravimétricos y volumétricos. Una sustancia patrón presenta una concentración conocida, por lo general de elevada pureza, en el caso de presentar impurezas estas deben ser inertes y susceptibles a determinarse por medio de ensayos sencillos. (Fernández & Mazziotta, 2005; Riaño, 2007).

Las sustancias patrón se clasifican dependiendo de sus características y su funcionalidad en patrones primarios y secundarios.

1.2.1. Patrones primarios

Los patrones primarios son sustancias que presentan una composición química conocida y una elevada pureza, por lo que se utilizan como soluciones estándar de calibración y normalización de equipos, reactivos y métodos de ensayo (Álvarez, 2004; Dharan, 2021).

Para que una sustancia sea considerada como un patrón primario debe cumplir con determinados requisitos (Dharan, 2021; García, 2006):

- Debe presentar una pureza conocida, por lo general, superior al 99 %.
- Su composición química debe estar bien definida.
- No debe ser higroscópica, con el objetivo de asegurar su estabilidad química y física.
- Ser susceptible a analizarse con exactitud.
- El peso equivalente de una sustancia patrón primario debe ser lo más elevado posible con el fin de evitar errores de pesada que afecten en las concentraciones de las diluciones a preparar.
- Debe ser estable en el proceso de secado a temperaturas estufa (105 - 110 °C), es decir no debe sufrir ningún cambio físico o químico que afecte su composición.

1.2.2. Patrones secundarios

Los patrones secundarios son sustancias cuya concentración se determina mediante el empleo de un patrón primario, mediante métodos analíticos estandarizados dentro de un laboratorio (Álvarez, 2004).

Conseguir sustancias de elevada pureza que puedan ser utilizadas como estándares en diferentes métodos analíticos suele ser difícil. Por esta razón se emplean patrones secundarios de concentración conocida que, por lo general, son utilizadas para la

estandarización de disoluciones de ciertos reactivos y la calibración de instrumentos (Costa, 2005; Moro, 2000).

Entre los requisitos que debe cumplir una sustancia patrón secundario están (Fernández & Mazziotta, 2005):

- Deben ser trazables con respecto a la sustancia patrón primario.
- Deben mantenerse estables durante el periodo de tiempo en el que se realice el análisis.

1.3. Control interno de calidad de datos

El control de calidad es fundamental para obtener resultados que sean confiables y veraces (Albetkova et al., 2016). El control de calidad de un laboratorio se define como un conjunto de técnicas, procedimientos y actividades operativas que se emplean con el objetivo de satisfacer los requisitos de calidad de un producto o servicio. Además, el control de calidad estudia los errores generados al aplicar un determinado método de análisis con el propósito de identificarlos y minimizarlos. La calidad de los resultados analíticos obtenidos va a depender de la calidad del método empleado, el mismo que debe estar registrado bajo determinadas condiciones (Greenfield & Southgate, 2003).

La calidad dentro del laboratorio se define por la exactitud y fiabilidad de los resultados analíticos obtenidos, los cuales deben mantenerse estables dentro de un periodo de tiempo definido y reproducidos bajo un costo accesible (Albetkova et al., 2016). La calidad proporciona al laboratorio analítico una garantía sobre la credibilidad y confianza de los resultados obtenidos en el mismo, siempre y cuando las actividades de control y evaluación de calidad se ejecuten y registren de manera sistemática (Westgard, 2013).

Para evaluar los resultados obtenidos dentro del laboratorio se emplean diferentes gráficas de control estadístico. Una de las alternativas más utilizadas es el sistema de gráficas de Levey- Jennings acompañadas de las reglas Westgard (Westgard, 2013).

1.3.1. Precisión

Dentro del control de calidad en el laboratorio la precisión y exactitud son términos fundamentales que se utilizan para definir la calidad y confiabilidad de las mediciones obtenidas en un análisis. La precisión es la concordancia entre los valores de una magnitud obtenidos por un mismo método. Una precisión alta se evidencia en base a la proximidad

entre los valores obtenidos de una medición bajo condiciones específicas (Gutiérrez, 2005; Osorio, 2009).

La precisión de un análisis cuantitativo se expresa en términos de desviación estándar y varianza (Osorio, 2009; Dharan, 2021). La precisión se define por la reproducibilidad y la repetibilidad (Griful & Canela, 2002).

- ***Repetibilidad***

La repetibilidad expresa la proximidad de los resultados obtenidos de mediciones sucesivas en diferentes marchas analíticas realizadas bajo condiciones de repetibilidad que incluyen: mismo método, mismo operador, mismo instrumento de medida usado bajo las mismas condiciones en cada marcha analítica y repetición en un periodo de tiempo corto (Portuondo & Portuondo, 2010).

Un valor de repetibilidad igual a uno indica que la lectura es perfectamente estable y repetible en todas las repeticiones. Por el contrario, un valor de repetibilidad igual a cero indica una incongruencia en las diferentes lecturas obtenidas (Portuondo & Portuondo, 2010).

- ***Reproducibilidad***

La reproducibilidad es la capacidad de mantener o producir un valor bajo diferentes condiciones. Se denomina también como el grado de concordancia entre los valores obtenidos al aplicar un método a muestras repetidas cambiando condiciones específicas. Para que la reproducibilidad sea válida se debe especificar las condiciones que se han hecho variar (ADS Quality, 2012; Sierra et al., 2010), las cuales pueden ser: el principio de medida, método de medida, equipo de medida, patrón de calibración, lugar, condiciones de uso y el periodo de tiempo en que se realizan las mediciones repetidas (Griful & Canela, 2002; Restrepo, 2007).

La reproducibilidad se expresa cuantitativamente en desviación estándar y coeficiente de variación (ADS Quality, 2012).

1.3.2. Desviación estándar

La desviación estándar (DE) es un término estadístico de medida de dispersión y se relaciona con el error aleatorio. La DE estima el grado de proximidad que existe entre los datos obtenidos alrededor de la media. Para un conjunto de datos, la DE es pequeña si los valores se encuentran concentrados alrededor de su media aritmética y, la DE es grande, si los

valores se encuentran dispersos alrededor de ella. Una de las desventajas de la desviación estándar como una medida de variación es que depende de las unidades de medida (Gómez & Sáez, 2006; Harris, 2007). Se expresa con la siguiente ecuación (1):

Ecuación 1. *Desviación Estándar*

$$DE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - X)^2}{n - 1}} \quad (1)$$

Nota. DE = Desviación estándar, \sum = Sumatoria de valores, X_i = Valor observado, X = Media, n = número total de valores observados. **Fuente:** (Harris, 2007).

1.3.3. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una medida relativa de dispersión de las lecturas obtenidas con respecto al valor medio (Berenson et al., 2006). Se expresa con la siguiente ecuación (2):

Ecuación 2. *Coeficiente de variación*

$$CV = \left(\frac{DE}{X}\right) 100 \% \quad (2)$$

Nota. CV = Coeficiente de variación, DE = Desviación estándar, X = Media. **Fuente:** (Dharan, 2021).

El coeficiente de variación refleja una imagen real de la desviación sin enfocarse en la naturaleza de la medición ni la metodología utilizada para dicha medición. Cuando el coeficiente de variación es menor se refleja una menor dispersión, por lo tanto, la representatividad de la media aritmética es mayor (Dharan, 2021; Vilchis, 2014).

1.3.4. Errores analíticos

Durante el proceso analítico existen diversas variables que influyen sobre el resultado final, la suma de todas las variables da como resultado una desviación de la lectura obtenida en el análisis sobre el resultado de referencia, lo cual se conoce como error (Güell et al., 2010).

El error está presente en todo proceso analítico debido a que ningún método es totalmente confiable y las condiciones pre-analíticas y post-analíticas influyen directamente sobre el resultado final (Güell et al., 2010).

Dentro de las determinaciones cuantitativas se pueden presentar dos tipos principales de errores, errores sistemáticos y errores aleatorios, cuya mezcla define la desviación total del

resultado obtenido, denominada error total como se expresa en la ecuación (3) (Güell et al., 2010).

Ecuación 3. Error Total

$$\text{Error total} = \text{Error sistemático (ES)} + \text{Error aleatorio (EA)} \quad (3)$$

Fuente: (Güell et al., 2010)

1.3.4.1. Errores sistemáticos

El error sistemático o determinado se define como la diferencia entre la media de los resultados obtenidos tras un número infinito de medidas con el valor verdadero de referencia. Es un error constante y predecible, se realiza bajo condiciones de repetibilidad (Güell et al., 2010).

Las variables asociadas al error sistemático son el equipo de medición, el método empleado, los operadores, mala calidad de materiales y reactivos (Güell et al., 2010).

El error sistemático puede ser de tipo **constante** cuando se genera por un déficit en la especificidad de los métodos utilizados, por presencia de interferencias o empleo de blancos erróneos; o de tipo **proporcional**, que es equivalente al porcentaje de concentración de la variable cuantitativa de análisis, se puede generar por una incorrecta calibración del método analítico empleado (Güell et al., 2010).

1.3.4.2. Errores aleatorios

Los errores aleatorios o indeterminados son aquellos que se producen de manera accidental y se generan por la deficiente capacidad del operador al momento de controlar los diversos parámetros del análisis. Este tipo de errores se alteran de forma impredecible entre lecturas sucesivas de la misma magnitud. Los errores aleatorios afectan a la precisión en los resultados y se presentan cuando se realizan varios análisis repetitivos de una misma muestra y se obtienen valores que fluctúan alrededor de un valor central (Güell, 2010; Valcárcel & Ríos, 2012).

Estos errores se presentan debido a determinadas variaciones, tales como el pipeteo, el mezclado de la muestra y reactivos, la inestabilidad de equipos, las variaciones de temperatura de incubación de las muestras, la calibración, entre otros (Güell, 2010).

1.4. Gráficos de control de calidad

Dentro del laboratorio analítico es indispensable realizar el control de calidad que garantice la credibilidad y confianza de los resultados obtenidos. Uno de los métodos más utilizados para monitorear la calidad de un proceso es la utilización de gráficas de control, las cuales permiten realizar el seguimiento de la evolución de un proceso analítico dentro del laboratorio, a través de una representación visual del comportamiento ordenado de un proceso en el tiempo (Gómez & Sáez, 2006).

Los gráficos de control se basan en la representación gráfica de la media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación para cada parámetro analizado. Mediante esto, cada desviación dentro del proceso puede ser fácilmente observada o detectada por el operador y pueda ser corregida oportunamente (Gómez & Sáez, 2006; Verdoy et al., 2006).

Existen diferentes tipos de gráficos de control; sin embargo, uno de los tipos más utilizados es el sistema de gráficas de Levey- Jennings, que suelen ir acompañadas de las reglas Westgard.

1.4.1. Gráficas de Levey - Jennings

Las gráficas de Levey - Jennings representan, en forma visual, la media aritmética y variabilidad (desviación estándar y coeficiente de variación) de los datos obtenidos en las marchas analíticas, presentadas como la magnitud medida vs tiempo. Para la elaboración de la gráfica de Levey- Jennings se analiza un número determinado de muestras del material de control. De este conjunto de valores, se calcula la media y sus respectivas desviaciones estándar ($\pm 1S$, $\pm 2S$ y $\pm 3S$) (Figura 1) (Albetkova et al., 2016).

Estas gráficas sirven para el control de calidad interno del laboratorio mediante un registro de las mediciones obtenidas a partir de las marchas analíticas (Gómez et al., 2015).

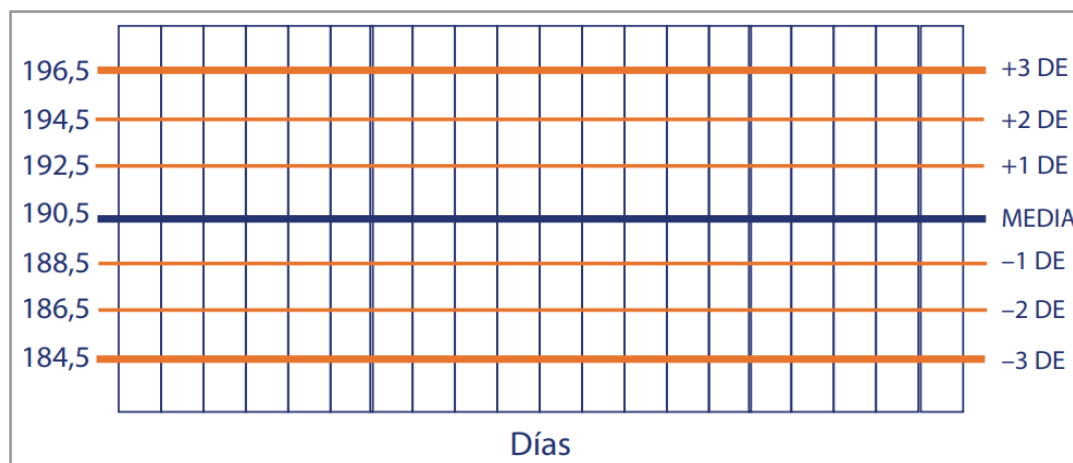


Figura 1. Gráfica de Levey - Jennings. Fuente: Albetkova et al., 2016.

La interpretación de la gráfica de Levey-Jennings se realiza en base a las reglas de Westgard, las cuales permiten a los operadores evaluar los errores sistemáticos y aleatorios y decidir si los resultados obtenidos en las marchas analíticas se encuentran dentro o no de los rangos de control (Rodríguez et al., 2004).

1.5. Reglas de Westgard

Las reglas de Westgard son un conjunto de reglas de control que tienen como objetivo principal la detección de errores sistemáticos y aleatorios dentro del laboratorio y, por consecuencia, permiten evaluar la calidad de los métodos analíticos empleados.

En el control de calidad de los laboratorios generalmente se utilizan 6 reglas de Westgard, estas reglas pueden ser aplicadas de manera individual o en combinación entre ellas, dentro de estas reglas 1 es de advertencia, 2 reglas son de aviso y 3 reglas permiten rechazar de manera directa los valores de control obtenidos. Es importante recalcar que cada laboratorio tiene la facultad de elegir qué reglas de Westgard se van utilizar en el control de calidad del mismo (Hervás, 2007).

Las reglas de Westgard se expresan de acuerdo a una determinada terminología. El coeficiente representa el número de observaciones que incumplen el criterio de calidad en cada regla, mientras que el subíndice expresa el criterio de calidad que se evalúa (González, 2019).

Las reglas de Westgard se aplican en el siguiente orden: Regla 1_{2s}, 1_{3s}, 2_{2s}, R_{4s}, 4_{1s}, 10_x (Figura 2). La finalidad de seguir este orden es determinar primero los errores más grandes y luego los más pequeños. Si estas reglas son violadas se confirma que existe un problema por lo que la corrida debe ser rechazada. Por el contrario, cuando ninguna de estas reglas ha

sido violada se determina que la corrida está bajo control y no existe ningún problema (Westgard, 2013).

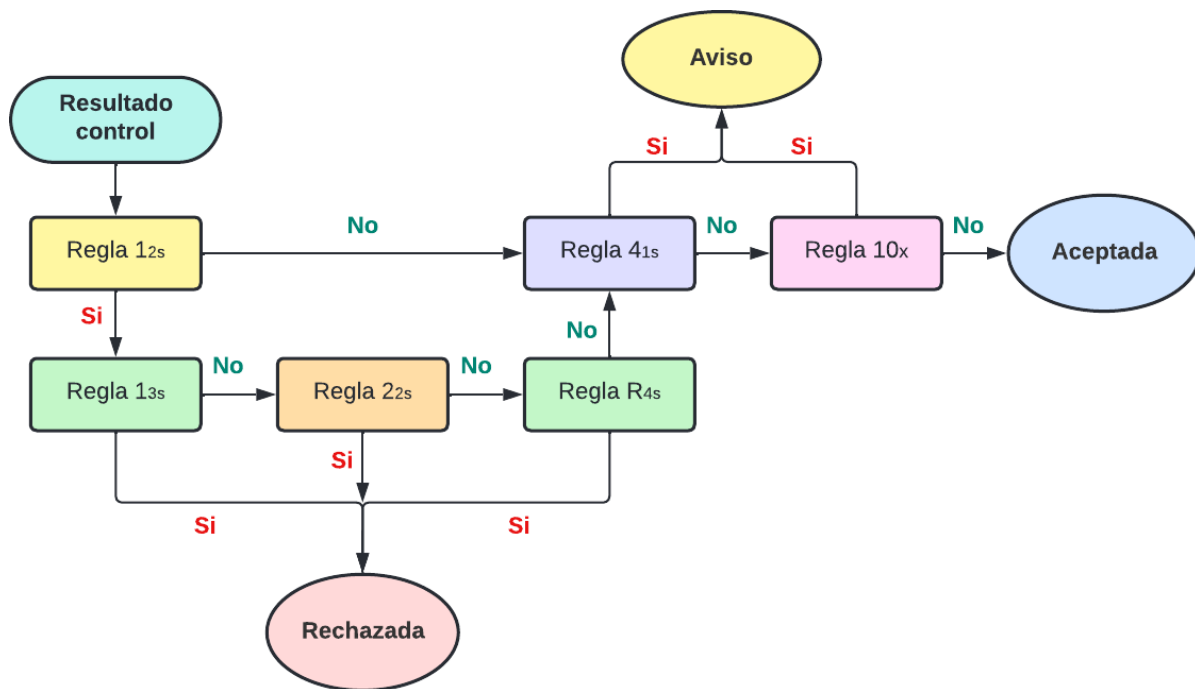


Figura 2. Representación de la aplicación de las Reglas de Westgard. Fuente: Adaptado de Westgard, 2013.

Para realizar el control de calidad se emplean muestras de control seriadas, se realizan las gráficas de control y se aplican las reglas de Westgard detalladas a continuación:

- **Regla 12s:** Es una regla de advertencia. Esta regla es violada cuando un valor control excede el límite $\pm 2S$; advierte al operador sobre posibles problemas aleatorios o sistemáticos. Esta regla no genera un rechazo de la serie (Figura 3) (González, 2019; Westgard, 2013).
- **Regla 13s:** Esta regla tiene como objetivo la detección de errores aleatorios y la identificación del inicio de errores sistemáticos dentro de la marcha analítica. Cuando un valor control de la serie analítica se encuentra fuera de $\pm 3S$ se rechaza la serie (Figura 3) (González, 2019).
- **Regla 22s:** Esta regla determina la presencia temprana de errores sistemáticos dentro de las marchas analíticas. Se origina cuando dos valores control sucesivos superan $\pm 2S$ en la misma dirección, generando el rechazo de la serie analítica (Figura 3) (González, 2019).

- **Regla R_{4s}**: Esta regla permite detectar los errores aleatorios dentro de las marchas analíticas. Se viola cuando el intervalo entre dos valores control sobrepasa 4S, en este caso se genera un rechazo de la serie analítica (Figura 3) (González, 2019).
- **Regla 4_{1s}**: Esta regla que permite la detección de errores sistemáticos, se considera como una regla de advertencia cuando se analiza de forma individual. La regla se viola cuando 4 valores sucesivos de control superan la media $\pm 1S$ en una misma dirección (Figura 3) (González, 2019; Westgard, 2013).
- **Regla 10_x**: Es una regla de advertencia que se utiliza con el objetivo de detectar errores sistemáticos. Esta regla es violada en el caso de que 10 valores sucesivos de las corridas analíticas de control se distribuyan a un mismo lado de la media (Figura 3) (Fernández & Mazziotta, 2005; González, 2019).

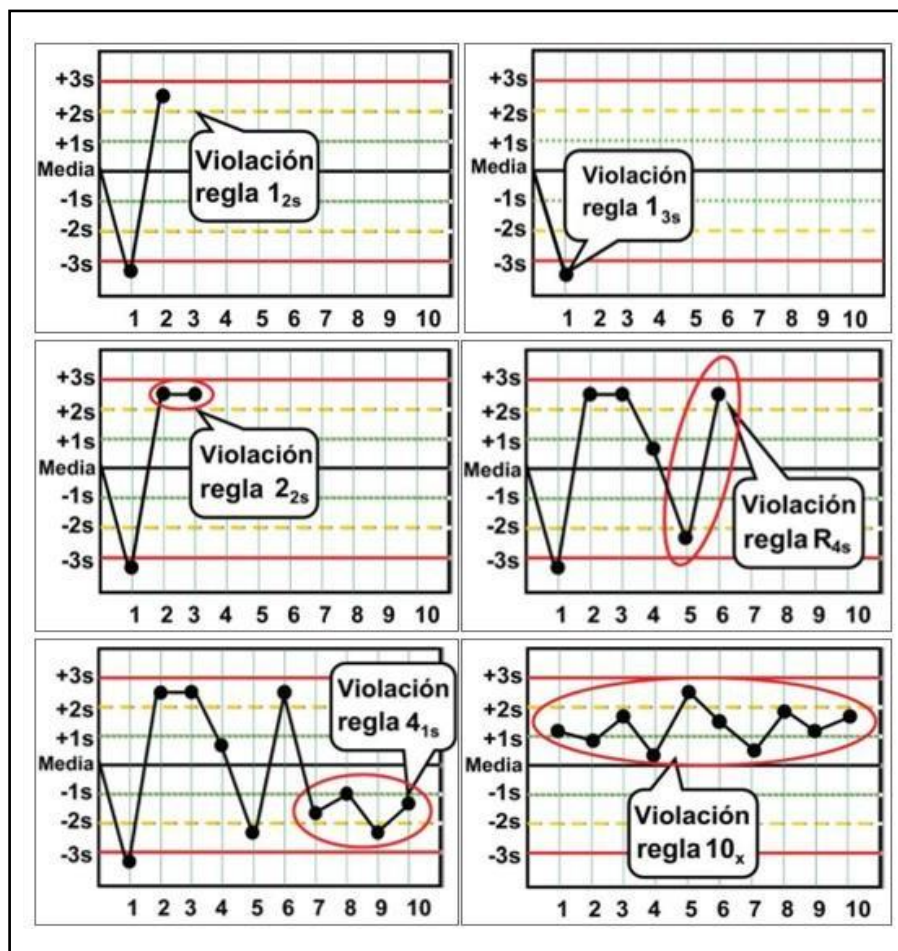


Figura 3. Violaciones a las Reglas de Westgard. Fuente: Adaptado de Westgard, 2013.

Las reglas de Westgard pueden emplearse de manera combinada y sucesiva. La combinación de estas reglas facilita la detección de errores aleatorios o sistemáticos dependiendo las reglas de Westgard que se violen, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Interpretación de las reglas de Westgard. Fuente: (Fernández & Mazziotta, 2005).

Tipo de error	Violación de la regla
Aleatorio	13s, R4s
Sistemático	22s, 41s, 10x

1.6. Arroz como matriz alimentaria

El arroz es uno de los cereales más cultivados y consumidos en el mundo. Pertenece a la familia Gramineae, siendo *Oryza sativa L.* y *Oryza glaberrima Steud* las especies más cultivadas (Acevedo et al., 2006). Su cultivo inició hace aproximadamente 10.000 años en diferentes regiones de Asia tropical y subtropical. En la actualidad, se lo considera como un alimento básico para más de la mitad de la población a nivel mundial (Acevedo et al., 2006).

1.6.1. Procesamiento del arroz

El arroz se obtiene a partir de diferentes etapas post-cosecha que contribuyen a la estabilidad física, química y nutricional del grano seco como producto final por un largo periodo de tiempo. La estabilidad del grano de arroz solo se puede asegurar por las correctas condiciones de procesamiento al que es sometido; sin embargo, cada uno de estos factores afectan en cierto grado a la calidad.

Las etapas de proceso post-cosecha para la obtención del arroz son:

- **Cosecha y trillado**

La cosecha es el proceso de cortado y recolección de las plantas, mientras que la trilla consiste en el proceso de descascarillado del grano de arroz (Riquelme, 2012). Es esencial determinar el momento en que se realiza la cosecha, ya que cuanto más inmaduro sea el grano, la humedad será mayor y, por consecuencia, el arroz es más susceptible a sufrir cambios químicos y físicos que afecten a su composición y morfología. El tiempo adecuado de cosecha es cuando el grano de arroz presenta una humedad entre 15 – 22 % lo que permite no solo economizar sino también agilizar el tiempo de secado (Andrade et al., 2007).

- **Secado**

Este proceso permite disminuir la humedad del grano y así evitar el ataque de microorganismos. En esta etapa se utilizan altas temperaturas y bajos flujos de aire que permitan un adecuado secado, evitando que el grano pierda su integridad. El grano de arroz después del secado debe presentar una humedad aproximadamente 12 % lo que inhibe los

procesos metabólicos del grano y le otorga una mayor estabilidad en su periodo de almacenamiento (Ortíz & Soliz, 2007).

- **Almacenamiento**

El grano de arroz se debe almacenar en condiciones adecuadas de temperatura y humedad con el fin de que se pueda conservar su calidad por el mayor tiempo posible. La temperatura de almacenamiento es un factor importante ya que la actividad biológica y desarrollo de microorganismos aumenta al incrementarse la temperatura. El tiempo de vida útil del grano de arroz dependerá del porcentaje de humedad que presenta. Por ejemplo, para que el grano de arroz se mantenga estable durante un año debe presentar una humedad entre 10 – 12 % (Andrade et al., 2007).

La vida útil del arroz va a depender si se trata de un arroz integral o pulido. En el caso del arroz molido, al no presentar una cubierta protectora, las células de su superficie se hidrolizan fácilmente por la acción de la lipasa y su posterior oxidación por acción de las lipooxigenasas de ácidos grasos insaturados presentes en el grano (Borrás & Franquet, 2004). Por el contrario, el arroz integral al presentar una cubierta protectora denominada salvado dificulta el proceso de oxidación, por ende, el arroz integral es más estable y presenta una vida útil mayor en comparación con el arroz pulido (Shinya, 2013).

1.6.2. Estructura del arroz

El arroz es uno de los cereales que se consume como grano entero. La cáscara está compuesta por dos hojas (lema y palea), que se encargan de proteger a la cariósida del ataque de insectos y hongos, representa un 20 % del peso total de grano, pero su valor nutritivo es escaso, sin embargo, presenta una alta cantidad de fibra (70 %), cenizas ricas en sílice (20 %), proteínas (3 %), grasa (2 %) y cantidades de vitaminas mínimas (Gil & Ruiz, 2010).

El grano de arroz se encuentra constituido por diferentes estructuras. La **cariósida** se conoce como grano descascarado, es decir, el fruto mismo que está compuesto por pericarpio, tegumento, núcleo, endospermo y embrión (Gil & Ruiz, 2010). El **pericarpio** es la superficie externa del grano de arroz y está formado por tres capas de células: endocarpio, mesocarpio y exocarpio (Degiovanni et al., 2010). El **tegumento** está próximo al pericarpio y está formado por una sola capa de células. En esta región están situados los pigmentos que dan color a la cariósida del arroz (Gil & Ruiz, 2010). El **núcleo** es la denominación dada al grano de arroz maduro. La **aleurona** es la capa más externa del endospermo, constituida mayoritariamente por proteínas (Gil & Ruiz, 2010). El **embrión** o germen está localizado en

la base del grano. El embrión y su capa protectora escutelo contienen ciertas enzimas necesarias para el proceso de germinación. Además, el germen es rico en proteínas y grasas, pero debido a su alto contenido en fibra y cenizas su digestibilidad se ve disminuida, también presenta un alto contenido en vitaminas, carbohidratos y minerales (Borrás & Franquet, 2004; Gil & Ruiz, 2010). El **endospermo** está formado por un conjunto de células parenquimatosas que presentan gránulos de aleurona y cuerpos proteicos, y por una capa de aleurona que constituye la capa más externa del endospermo (Borrás & Franquet, 2004).

1.6.3. Clasificación

Existen diferentes variedades de arroz, clasificadas en base a diferentes características, tales como su tamaño, tratamiento de elaboración y características organolépticas.

La clasificación más importante del arroz es aquella que se basa en el tratamiento de elaboración del grano, el cual da origen a diferentes tipos de arroz con determinados aspectos. Se destacan los siguientes:

- **Arroz paddy:** También denominado arroz con cáscara, está conformado por una cubierta protectora exterior conocida como cáscara y la cariósida o grano de arroz, es decir, es el arroz tal cual se presenta luego de la recolecta (Gil & Ruiz, 2010).
- **Arroz integral o pardo:** Se trata del arroz descascarillado, el cual presenta una fina capa externa conocida como salvado, al presentar esta capa delgada su apariencia es más oscura. Este tipo de arroz posee una gran concentración de vitaminas y minerales en comparación con el arroz blanco, una de sus desventajas es que presenta un mayor tiempo de cocción en comparación con el arroz blanco (Ladrón de Guevara, 2022).
- **Arroz blanco:** También denominado arroz pulido, este tipo de arroz se obtiene mediante un proceso de blanqueo, pulido y abrillantado, todo esto se realiza con el propósito de eliminar las capas externas que cubren el grano de arroz como son el salvado y el germen con el fin de obtener un arroz de superficie suave y blanca. Una de sus ventajas es que presenta un menor tiempo de cocción (Gil & Ruiz, 2010).

1.6.4. Composición química del arroz crudo

La composición química del grano de arroz depende de varios factores como el genotipo del arroz, procesos y tratamientos a los que se somete para su obtención y condiciones ambientales en las que se desarrolla. Estos factores influyen directamente en la

concentración de carbohidratos, lípidos, proteínas y minerales de los diferentes tipos de arroz. Por ejemplo, el arroz blanco presenta una mayor concentración de carbohidratos disponibles a diferencia del arroz integral, mientras que la concentración de proteínas, fibra dietética, minerales y vitaminas se encuentra en mayor concentración en el arroz integral (FAO, 1994; Gil & Ruiz, 2010).

El arroz comercial es un alimento rico en hidratos de carbono, el glúcido que se encuentra en mayor proporción es el almidón (70 – 80 %), lo cual lo convierte en un alimento con alto valor energético. En cuanto a su contenido proteico, su concentración es baja (7 %) en comparación con otros cereales. En relación a su contenido de lípidos su concentración en el arroz pulido es insignificante (0.9 %), debido a que la mayor parte de esta fracción grasa se pierde durante la etapa del descascarillado (Gil & Ruiz, 2010; Hernández & Sastre, 1999).

Las diferencias porcentuales entre el arroz integral y pulido se pueden apreciar en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición nutricional en las diferentes clases de arroz (macronutrientes expresados en g/100 g, vitaminas y minerales expresados en mg/100 g). **Fuente:** (Borrás & Franquet, 2004; Gil & Ruiz, 2010; Paredes et al., 2021).

Componentes	Arroz		
	Paddy	Integral	Pulido
<i>Proteínas</i>	7.7	7.5	7.1
<i>Grasas</i>	2.3	2.6	0.9
<i>Fibra</i>	10.4	2.9	1.4
<i>Cenizas</i>	5.2	1.2	0.6
<i>Carbohidratos totales</i>	73	73.9	78.3
<i>Humedad</i>	14	12 - 13	12 - 13
<i>Tiamina (Vit. B1)</i>	0.33	0.39	0.05
<i>Riboflavina (Vit. B2)</i>	0.11	0.08	0.04
<i>Niacina (Vit. B3)</i>	5.6	4.8	3.6
<i>Fósforo</i>	390	303	102
<i>Hierro</i>	6	1.7	0.8

Otro de los componentes presentes en el arroz comercial son las vitaminas, las cuales se encuentran en una mayor proporción en el arroz paddy. Al perder su cubierta protectora durante el proceso de descascarillado, su concentración disminuye aproximadamente en un 80 %. El arroz es uno de los cereales que presenta una mayor concentración de vitaminas del grupo B, pero carece de otras vitaminas como la vitamina A, D y C. Entre las vitaminas del grupo B que se encuentran en mayor concentración en el grano de arroz está la niacina, seguido del ácido pantoténico, vitamina B6, tiamina y riboflavina. Además, el arroz es una fuente importante de ácido fólico (FAO, 1994; Gil & Ruiz, 2010).

En cuanto a la concentración de minerales, forman parte del 1- 3 % del peso total del grano de arroz y, por lo general, se encuentran en el pericarpio. Dentro de los minerales más abundantes están el fósforo, potasio, magnesio, calcio, entre otros. En particular, el arroz presenta un alto contenido de potasio (100 mg/100 g), por lo que es un alimento sugerido en dietas para personas hipertensas (Gil & Ruiz, 2010).

Durante el proceso de elaboración del arroz blanco se da una pérdida significativa de varios nutrientes. Particularmente, la fibra se encuentra en mayor proporción cuando el arroz presenta el salvado y la cáscara. Al perder estas cubiertas protectoras, el valor de la fibra disminuye considerablemente a valores mínimos (Gil & Ruiz, 2010; Hernández & Sastre, 1999).

1.6.5. Lípidos

El contenido de lípidos en el arroz es menor en comparación con carbohidratos y proteínas (Tong & Bao, 2019). Los lípidos del grano de arroz se encuentran formados en su mayor parte por ácidos grasos insaturados (72 – 85 %) y en una menor proporción por ácidos grasos saturados (11 – 26 %). Entre los ácidos grasos esenciales presentes en el grano de arroz están el ácido oleico (35 %), el linoleico (29 – 42 %) y el linolénico (0.8 – 1 %). Estos lípidos se localizan en el salvado, embrión y endospermo, con la mayor concentración en el salvado del arroz (15 – 25 %). Sin embargo, durante el proceso de elaboración, al pasar de arroz integral a arroz comercial, se pierde esta cubierta provocando una disminución considerable de la concentración de ácidos grasos en el grano (FAO, 1994; Gil & Ruiz, 2010; Tong & Bao, 2019).

Los lípidos del arroz se presentan en forma de gotitas en la capa de la aleurona (< 1.5 mm), capa sub-aleurona (< 1.0 mm) y embrión (<0.7 mm), y también se encuentran asociados a la membrana, proteínas y a los gránulos de almidón. Estos lípidos se componen en su mayor parte por una fracción apolar (triglicéridos) y una fracción polar (fosfolípidos y glucolípidos).

Se dividen en dos grupos dependiendo de la unión que presenten con el almidón: lípidos libres (no amiláceos) y lípidos unidos (amiláceos) (Gil & Ruiz, 2010; Tong & Bao, 2019).

- **Lípidos libres o no amiláceos**

Se encuentran unidos a la superficie del grano de almidón, están conformados principalmente por triglicéridos, fosfolípidos y glucolípidos. Se encuentran en una concentración de 14 – 18 % en el embrión, 39 – 41 % en el salvado y 25 – 33 % en el endospermo (Tong & Bao, 2019).

- **Lípidos unidos o amiláceos**

Se encuentran dentro de los granos de almidón, están compuestos por lisofosfatidilcolina, lisofosfatidiletanolamina y ácidos grasos libres. Se encuentran en una concentración del 48 – 71 % en el endospermo (Tong & Bao, 2019).

1.6.6. Proteínas

Los cereales proveen el 50 % de las necesidades proteicas de los individuos de países en vía de desarrollo. El contenido de proteínas varía según el tipo de cereal y especie. El arroz es el cereal que presenta uno de los porcentajes más bajos en relación a su contenido de proteínas, pero a diferencia de los otros cereales su digestibilidad es de un 99.7 %, por lo cual las proteínas del arroz son aprovechados en su mayor proporción por el cuerpo humano (Gil & Ruiz, 2010).

En el arroz, las proteínas se encuentran en diferentes compartimentos del grano, el mayor porcentaje de proteínas se localiza en el endospermo (Gil & Ruiz, 2010). El arroz comercial está formado por dos compuestos proteicos: los cristalinos que son ricos en glutenina y los compuestos esféricos ricos en prolamina, dentro de las diferentes fracciones proteicas que forman parte del arroz se destacan: glutenina (75 – 90 %), albúmina y globulina (15 %), prolamina (5 – 8 %) (Gallegos, 2012; Pincioli, 2010).

Estas fracciones proteicas se caracterizan por (Gallegos, 2012; Pincioli, 2010):

- **Gluteninas:** Se encuentran en el endospermo del grano de arroz, estas fracciones conforman la mayor reserva proteica del arroz. Estas fracciones proteicas son insolubles debido a que presentan un alto contenido de puentes disulfuro.
- **Globulinas:** Se localizan en el pericarpio del grano y en el germen.
- **Albúminas:** Se encuentran principalmente en la aleurona.
- **Prolaminas:** Estas fracciones proteicas se localizan en el endospermo del grano de arroz, la prolamina que se encuentra presente en el arroz es la orceína.

1.6.7. Carbohidratos

El arroz está compuesto en su mayor parte por glúcidos o hidratos de carbono, los cuales representan aproximadamente el 70 – 80 % de su composición, por esta razón se lo considera como un alimento energético. Dentro de los carbohidratos que forman parte del arroz el que se encuentra en mayor concentración es el almidón (Borrás & Franquet, 2004).

El **almidón** es el carbohidrato más importante de los cereales, se encuentra principalmente en el endospermo y está conformado por dos polímeros de glucosa, amilosa y amilopectina (Armendáriz, 2016; Gil & Ruiz, 2010). La **amilosa** es un polímero lineal formado por unidades de glucosas unidas por enlaces α (1:4); le confiere al grano de arroz firmeza, pero por la falta de humedad del grano, le confiere poca capacidad de transmitir sabores. (Armendáriz, 2016; Degiovanni et al., 2010; Ospina, 2002). La **amilopectina** es un polímero ramificado que está formado por unidades de glucosa unidas por enlaces α (1:4) y α (1:6). La amilopectina presenta un rol importante en la calidad del arroz debido a que se encuentra asociada a sus propiedades de humectabilidad y gelatinización, lo cual le confiere al arroz la absorción del sabor, adherencia de los granos y se reduce su firmeza (Armendáriz, 2016; Ceballos & Ospina, 2002).

1.7. Factores que alteran la estabilidad del arroz

Las alteraciones que producen cambios en la estabilidad y calidad del arroz pueden darse a nivel físico, químico y biológico. Las alteraciones físicas se producen por la aplicación de métodos inapropiados de cosecha, empaque, transporte y una exposición a condiciones ambientales adversas (calor o frío excesivo). Las alteraciones químicas del arroz son producidas por reacciones que generan componentes indeseables que afectan significativamente el valor nutritivo del arroz. Por su parte, las alteraciones biológicas son ocasionadas por agentes microbiológicos externos (Borrás & Franquet, 2004).

La estabilidad química y física que presenta el arroz permite que se pueda utilizar como patrón secundario en la validación y estandarización de métodos cuantitativos dentro del laboratorio. Bajo condiciones óptimas de almacenamiento (temperatura < 25 °C y humedad < 14 %), el arroz es una matriz alimentaria que puede permanecer estable durante un periodo de alrededor de 2 años (Borrás & Franquet, 2004; Sánchez et al., 2019).

1.7.1. Alteraciones físicas

El factor más influyente en la estabilidad del arroz es la humedad, que debe ser inferior al 14 % para asegurar su calidad. El exceso de humedad en el producto aumenta la proliferación

de microorganismos y da inicio a alteraciones enzimáticas (Borrás & Franquet, 2004).

La humedad es una de las principales causas de deterioro de los cereales almacenados, por lo que una de las etapas del procesamiento del arroz en la que se debe tener un mayor control es el secado. En esta etapa, el agua fija y el agua absorbida presente en el grano de arroz deben alcanzar un nivel mínimo con el propósito de conservar de manera íntegra el producto por un determinado periodo de tiempo (Borrás & Franquet, 2004).

Otra de las características a considerar en la estabilidad del arroz es la capacidad higroscópica de los granos, la cual permite la absorción de humedad del ambiente en el que se encuentra almacenado, creando condiciones óptimas para el desarrollo de parásitos o reacciones de fermentación (Bhattacharya, 2011).

La presencia de agua en el grano de arroz es un factor determinante para la activación de varias enzimas, tales como amilolíticas, lipasas y proteolíticas que se encuentran en el arroz (Borrás & Franquet, 2004).

1.7.2. Alteraciones químicas

1.7.2.1. Carbohidratos

Los carbohidratos bajo condiciones óptimas no presentan alteraciones significativas durante su almacenamiento (Bhattacharya, 2011). Por el contrario, cuando el arroz es almacenado con un alto contenido de humedad facilita la proliferación de hongos y bacterias. Estos microorganismos son los responsables de la producción de la enzima invertasa, que actúa sobre los azúcares no reductores presentes en el arroz estos se transforman en azúcares reductores (Borrás & Franquet, 2004).

En el caso del almidón se han reportado cambios cualitativos durante el almacenamiento del arroz, dentro de estos cambios se encuentran la propiedad de aglutinación del grano, temperatura de gelificación y disminución de la solubilidad del contenido de amilosa (Bhattacharya, 2011).

1.7.2.2. Lípidos

El arroz es un alimento rico en ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y linolénico), los mismos que son susceptibles a sufrir reacciones de oxidación. Como consecuencia, se forman radicales libres e hidroperóxidos. Luego de su descomposición se generan diferentes compuestos como cetonas, aldehídos, alcoholes, hidrocarburos, ésteres, furanos y lactosas

los cuales producen cambios en el sabor del alimento (Aguirre & Vargas, 2011; Borrás & Franquet, 2004).

La presencia de ácidos grasos libres es el primer indicativo del comienzo de deterioro del arroz, el contenido de ácidos grasos libres aumenta, mientras que la concentración de grasas neutras y fosfolípidos disminuye, estas reacciones de deterioro son más evidentes cuando el arroz presenta alto contenido de humedad y es almacenado a elevadas temperaturas (Bhattacharya, 2011; Borrás & Franquet, 2004).

El arroz con cáscara es más estable que el arroz pulido debido a que en la cubierta externa los ácidos grasos insaturados se encuentran ordenados en cubículos celulares que no permiten el contacto con las enzimas lipolíticas. Durante el proceso de molienda, el arroz pierde su cubierta protectora generando así la liberación de las enzimas y los ácidos grasos insaturados de sus compartimentos. La combinación de estos dos componentes origina procesos de hidrólisis de grasas que dan como resultado la liberación de ácidos grasos y glicerol (Aguirre & Vargas, 2011).

Una vez que el arroz ha pasado por la etapa de pulido este contiene solamente el 1 % de la fracción grasa, la cual es mínima en comparación con el arroz con cáscara (2.3 %). Sin embargo, la fracción grasa del arroz pulido es suficiente para dar origen a reacciones de oxidación (rancidez) durante su almacenamiento que afectan a su estabilidad y su calidad (Bhattacharya, 2011).

Durante el almacenamiento del arroz se pueden originar dos tipos de rancidez, hidrolítica y oxidativa. La rancidez hidrolítica se beneficia por la presencia de un elevado contenido de humedad que conlleva a un incremento de ácidos grasos libres. Éstos forman un complejo con la amilosa presente en el grano generando una interferencia en la gelificación e hinchazón del grano de arroz. Por otro lado, la rancidez oxidativa se beneficia por los bajos contenidos de humedad que dan como resultado la formación de hidroperóxidos y componentes carbonilos provocando alteraciones en el sabor del grano de arroz (Bhattacharya, 2011).

Para evitar que se produzcan estas reacciones de oxidación en el grano de arroz, es posible someterlo a diferentes tratamientos de estabilización (métodos térmicos y enzimáticos) (Aguirre & Vargas, 2011).

1.7.2.3. Proteínas

La desnaturalización de las proteínas causada por el bajo contenido de proteínas solubles dentro del grano es el principal proceso de alteración que pueden sufrir las proteínas durante

el almacenamiento, lo cual afecta la textura del arroz durante su cocción (Bhattacharya, 2011). El indicativo del envejecimiento del arroz es la formación de subunidades proteicas originados por la oxidación del grupo sulfhidrilo a puentes disulfuro. Estos cambios se manifiestan con cambios en el aroma y en la apariencia del grano (Bhattacharya, 2011).

2. Metodología

2.1. Tipo de estudio

Estudio cuantitativo analítico de corte transversal.

2.2. Descripción de la muestra

Los análisis de arroz crudo, como estándar secundario de análisis proximal, se realizaron a partir de un lote de arroz de 25 libras de una marca comercial escogida aleatoriamente. Todo el lote fue molido hasta obtener harina de arroz, que posteriormente se conservó en condiciones óptimas de almacenamiento (lugar fresco y libre de humedad).

2.3. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. *Materiales, reactivos, insumos y equipos utilizados.*

Materiales	Equipos	Reactivos	Insumos
<ul style="list-style-type: none"> - Crisoles de porcelana - Pinzas para crisol - Espátulas - Cápsulas de porcelana - Varillas de vidrio - Vasos de precipitación - Lunas de reloj - Embudos - Erlenmeyer - Balones de destilación - Refrigerantes - Probetas - Bureta - Balones de aforo - Tubos Kjeldahl - Pipetas - Desecador 	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica (Sartorius, Alemania) - Estufa (Memmert, Alemania) - Cocineta eléctrica (UMCO & Proctor silex, Ecuador & Estados Unidos) - Moledor de café (Hamilton Beach, Estados Unidos) - Mufla (Thermolyne, Estados Unidos) - Sistema purificador de agua (aquaMAX Basic 360 series, Corea) - Digestor (VELP Scientifica, Italia) - Scrubber (VELP 	<ul style="list-style-type: none"> - Éter de petróleo - Ácido clorhídrico - Ácido sulfúrico - Sulfato de potasio - Sulfato cúprico - Hidróxido de sodio - Ácido bórico - Indicador de Tashiro 	<ul style="list-style-type: none"> - Insumos de protección personal (guantes, mascarillas, cofias) - Insumos de limpieza (toallas de manos, alcohol, franelas, jabón de platos, esponjas de limpieza) - Cepillos para tubos

	Scientifica, Italia) - Baño María (Memmert, Alemania) - Equipo Micro - Kjeldahl (LABCONCO, Estados Unidos)		
--	---	--	--

2.4. Procedimientos analíticos

El análisis de los diferentes parámetros que comprenden el análisis proximal (humedad, cenizas, grasas, proteínas y carbohidratos) se realizaron de acuerdo a los protocolos establecidos en el Laboratorio de Alimentos y Nutrición, Departamento de Biociencias, Universidad de Cuenca.

Se realizó el análisis de 15 réplicas por cada parámetro, dentro de un periodo de 3 semanas consecutivas (03 - 21 de octubre de 2022).

2.5. Análisis proximal

2.5.1. Determinación de humedad

2.5.1.1. Fundamento

Los alimentos están constituidos por tres tipos de agua: combinada, absorbida y libre. La disposición de estos tipos de agua es variada. El agua combinada está unida a la estructura química del alimento, el agua absorbida se encuentra sobre la capa superficial del alimento y el agua libre no forma parte de los constituyentes del alimento y al encontrarse de manera libre se facilita su pérdida durante los procesos de evaporación y secado (Burriel et al., 2001; García & Fernández, 2012).

El método de secado en horno, también conocido como método gravimétrico, se trata de un método indirecto que consiste en determinar el porcentaje en agua por pérdida de peso como resultado de la evaporación por calentamiento a 105 °C, bajo condiciones normalizadas (Burriel et al., 2001; García & Fernández, 2012).

2.5.1.2. Procedimiento

El procedimiento para la determinación de humedad y materia seca se detalla a continuación a manera de flujograma (Figura 4).

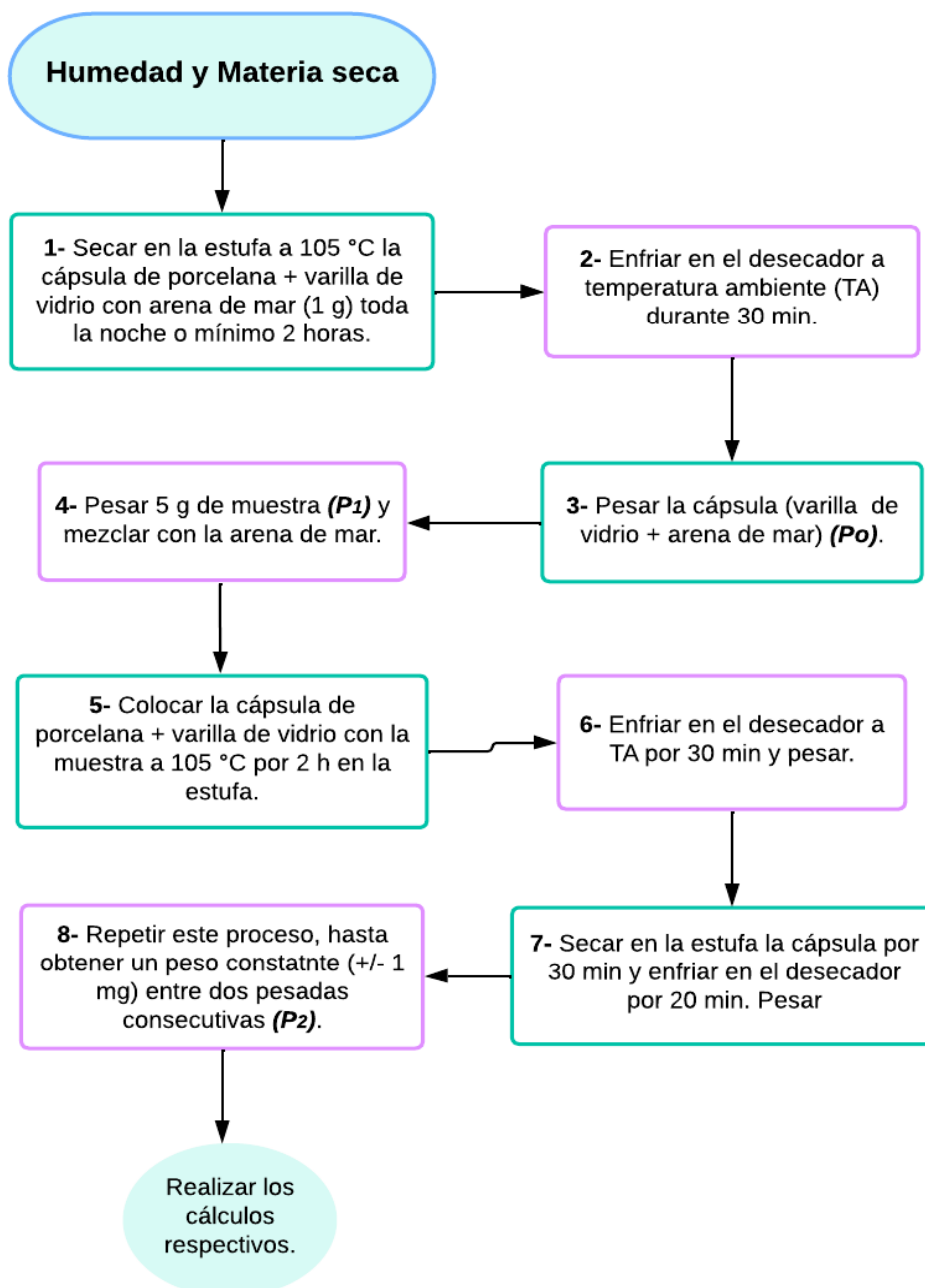


Figura 4. Procedimiento para la determinación de humedad y materia seca. **Fuente:** Autores.

2.5.1.3. Cálculos de humedad y contenido de materia seca

Los cálculos para la determinación del contenido de humedad y materia seca se realizaron mediante las siguientes ecuaciones

(4),

(5) y

(6).

Ecuación 4. *Cálculo del peso de la muestra desecada.*

$$P_2 = (P_c + M) \text{ final} - P_0 \quad (4)$$

Nota. (Pc + M) final = Peso final de la cápsula más la muestra, P0 = Peso de la cápsula + varilla de vidrio + arena de mar.

Ecuación 5. *Cálculo de materia seca.*

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{P_2 \times 100}{P_1} \quad (5)$$

Nota. P1 = Peso de la muestra, P2 = Peso de la muestra desecada.

Ecuación 6. *Cálculo del porcentaje de humedad.*

$$\% \text{ Humedad} = 100 \% - \% \text{ Materia seca} \quad (6)$$

2.5.2. Determinación de cenizas

2.5.2.1. Fundamento

Las cenizas son fracciones de minerales que forman parte de la materia inorgánica de los alimentos. Se obtienen tras un proceso de calcinación a temperaturas elevadas que destruyen la materia orgánica en su totalidad. Este método se basa en determinar el contenido de residuos no volátiles luego del proceso de calcinación del alimento. Este residuo corresponde a la materia inorgánica que es más estable al calor que la materia orgánica, por lo que no se destruye luego del proceso de incineración en una mufla a 500 °C (Burriel et al., 2001).

Durante el proceso de calcinación, la materia orgánica cambia su naturaleza, en el caso de las sales metálicas de ácidos orgánicos se convierten en óxidos o carbonatos, también reaccionan para formar fosfatos, sulfatos o haluros. Además, ciertos elementos como azufre y halógenos se volatilizan ya que no son retenidos por las cenizas (Burriel et al., 2001; Toledo, 2010).

2.5.2.2. Procedimiento

El procedimiento para la determinación de cenizas se detalla a continuación a manera de flujograma (Figura 5).

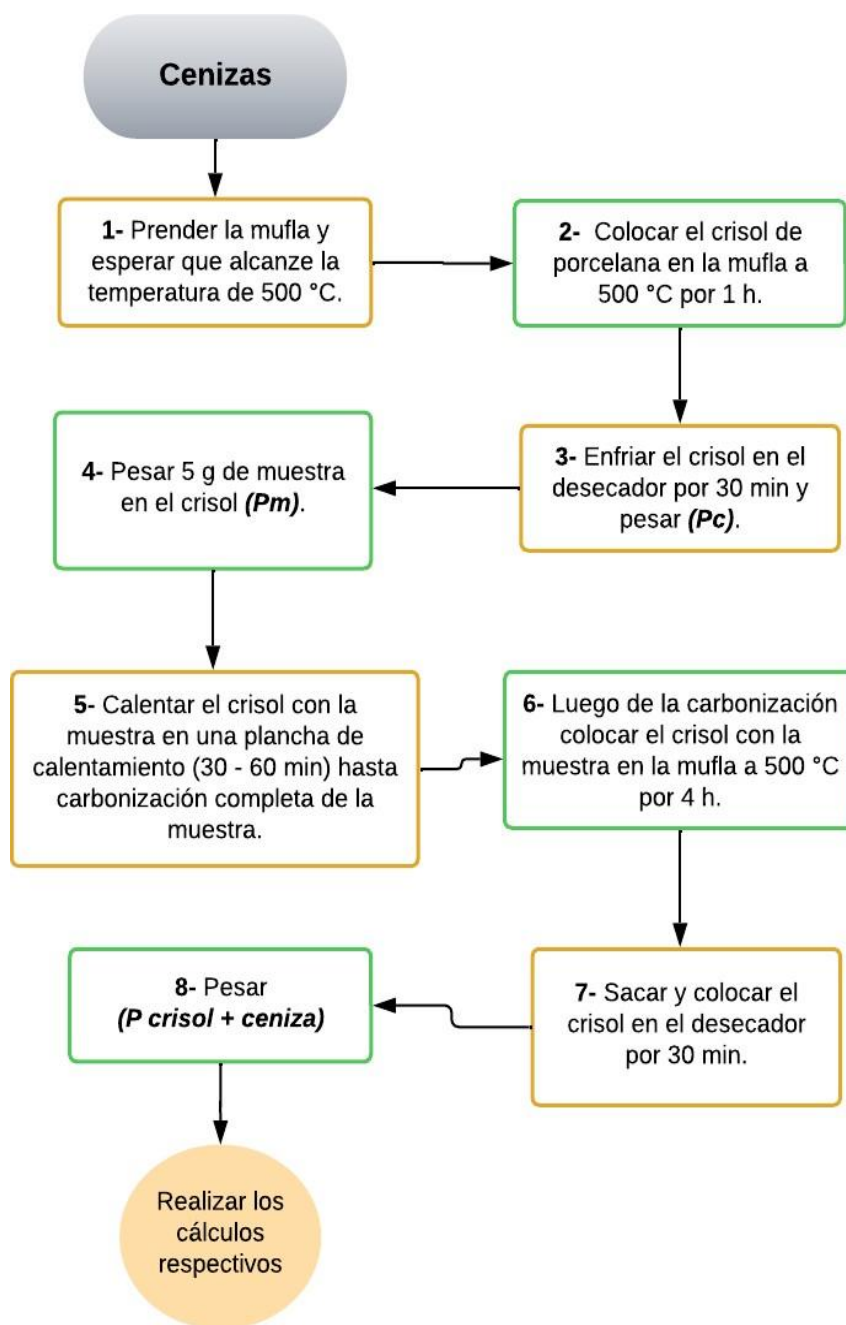


Figura 5. Procedimiento para la determinación de cenizas. **Fuente:** Autores.

2.5.2.3. Cálculos de contenido de cenizas

Los cálculos para la determinación de cenizas se realizaron mediante las siguientes ecuaciones

(7) y

(8).

Ecuación 7. Cálculo del peso de la ceniza.

$$P_c = (P_{\text{crisol}} + C) - P_{\text{crisol}} \quad (7)$$

Nota. (**P crisol + C**) = Peso del crisol más ceniza, **P crisol** = Peso del crisol vacío.

Ecuación 8. Cálculo del contenido de ceniza.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{P_c \times 100}{P_M} \quad (8)$$

Nota. **Pc** = Peso de la ceniza, **PM** = Peso de la muestra.

2.5.3. Determinación de grasas totales

2.5.3.1. Fundamento

El método de Weibull-Soxhlet se trata de un método de extracción semicontinua (sólido - líquido) a partir de materia seca con el empleo de un disolvente orgánico apolar que puede ser éter de petróleo o éter dietílico (Burriel et al., 2001; Canosa, 2009). El método consiste en someter a la muestra previamente pesada a una hidrólisis ácida con ácido clorhídrico concentrado con el propósito de separar la fracción grasa de los carbohidratos y proteínas presentes en la muestra, la muestra hidrolizada se filtra y se lava continuamente con agua destilada caliente con el objetivo de eliminar cualquier residuo de ácido. El papel filtro con el residuo se seca en la estufa. La materia seca se coloca en un cartucho de celulosa y se introduce en la cámara de extracción, la cual se encuentra enlazada a un balón de destilación y a un refrigerante. El disolvente usado para la extracción se encuentra en el balón, este se calienta hasta ebullición lo que genera que el vapor ascienda por un tubo lateral y se condense en el refrigerante provocando su caída sobre la muestra, cuando el solvente llega a un nivel máximo del tubo es sifonado de regreso al balón, todo este proceso se repite hasta lograr el agotamiento de la muestra. El contenido de grasa se calcula por gravimetría por ganancia de peso del matraz (Lamarque & Maestri, 2008; NTE INEN-ISO 8262-3, 2013).

2.5.3.2. Procedimiento

El procedimiento para la determinación de grasas totales se detalla a continuación a manera de flujograma (Figura 6).

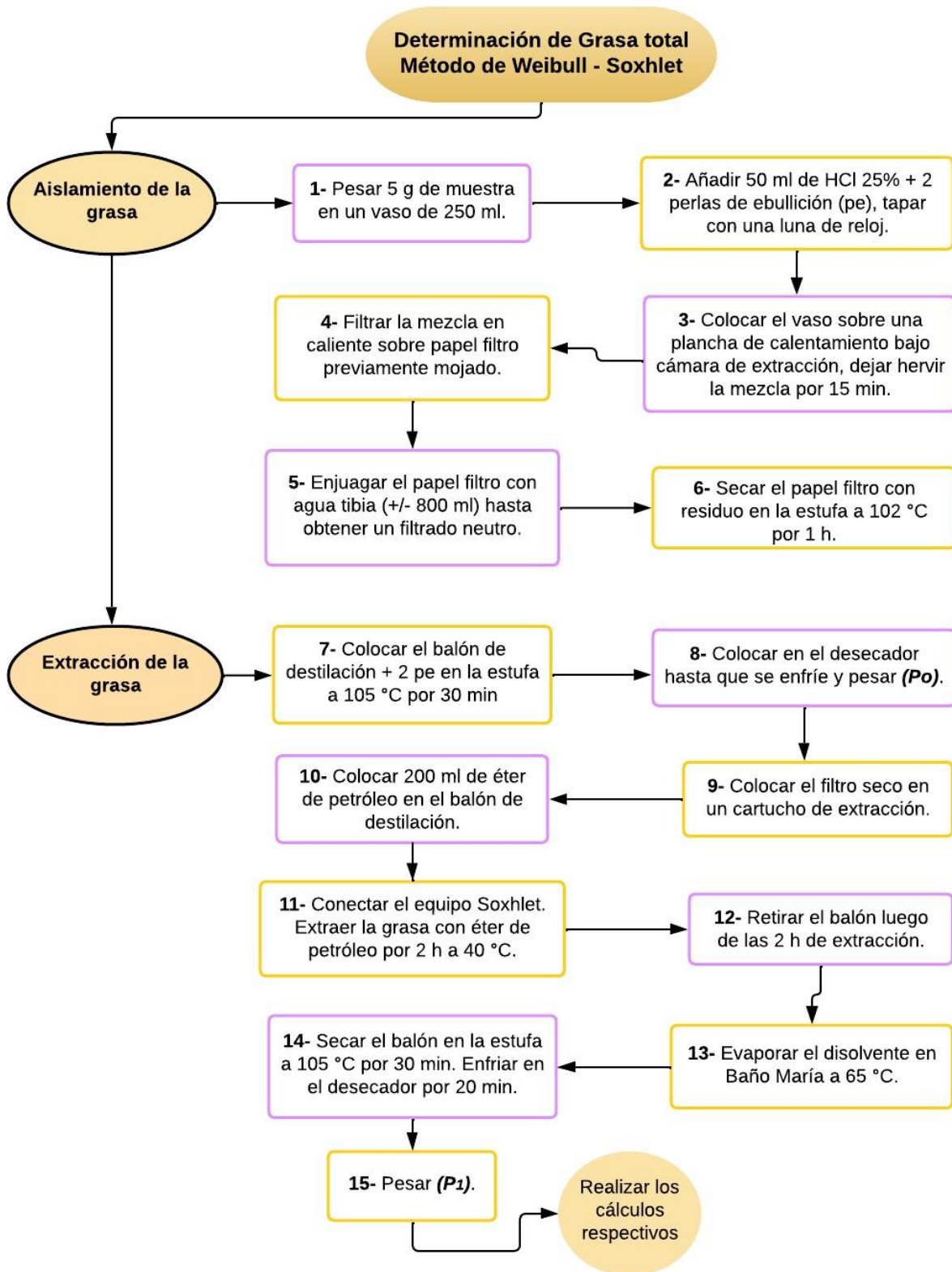


Figura 6. Procedimiento para la determinación de grasas totales. Fuente: Autores.

2.5.3.3. Cálculo contenido de grasa total

Los cálculos para la determinación de grasas totales se realizaron mediante la siguiente ecuación

(9).

Ecuación 9. *Cálculo del contenido de grasas totales.*

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P_1 - P_0}{P_M} \times 100 \quad (9)$$

Nota. P_0 = Peso del balón + Perlas de ebullición, P_1 = Peso del balón luego de la extracción de grasas y secado, P_M = Peso de la muestra.

2.5.4. Determinación de proteínas totales

2.5.4.1. Fundamento

La determinación de proteínas se realizó mediante el método de Kjeldahl que consiste en cuantificar la concentración de nitrógeno orgánico presente en la muestra, mediante un proceso de digestión, destilación y titulación (Burriel et al., 2001).

- **Digestión:** Se basa en la hidrólisis de la muestra en caliente con ácido sulfúrico concentrado. Durante este proceso de calentamiento la materia carbonosa es oxidada y se libera en forma de dióxido de carbono, el nitrógeno se transforma en sulfato de amonio. Como catalizadores de la reacción se emplean sulfato de cobre, sulfato de potasio, sales de mercurio y selenio (Burriel et al., 2001).
- **Destilación:** Luego de haber completado el proceso de digestión, el amoníaco producido es atrapado en forma de sulfato de amonio, para liberarlo se destila en medio alcalino. A la muestra digerida se le añade hidróxido de sodio que libera el amoníaco en forma de hidróxido de amonio. El amoníaco es recibido sobre una solución ácida y se forma un complejo estable, lo que se hace visible por el cambio de color de la solución gracias al indicador rojo de Metilo o Tashiro (Burriel et al., 2001).
- **Titulación:** El exceso de ácido utilizado en la destilación se valora con una solución alcalina de concentración conocida mediante la titulación por retroceso. En el caso de que el receptor sea el ácido bórico, se titula directamente con una solución ácida (Burriel et al., 2001).

2.5.4.2. Procedimiento

El procedimiento para la determinación de proteínas se detalla a continuación a manera de flujograma (Figura 7).

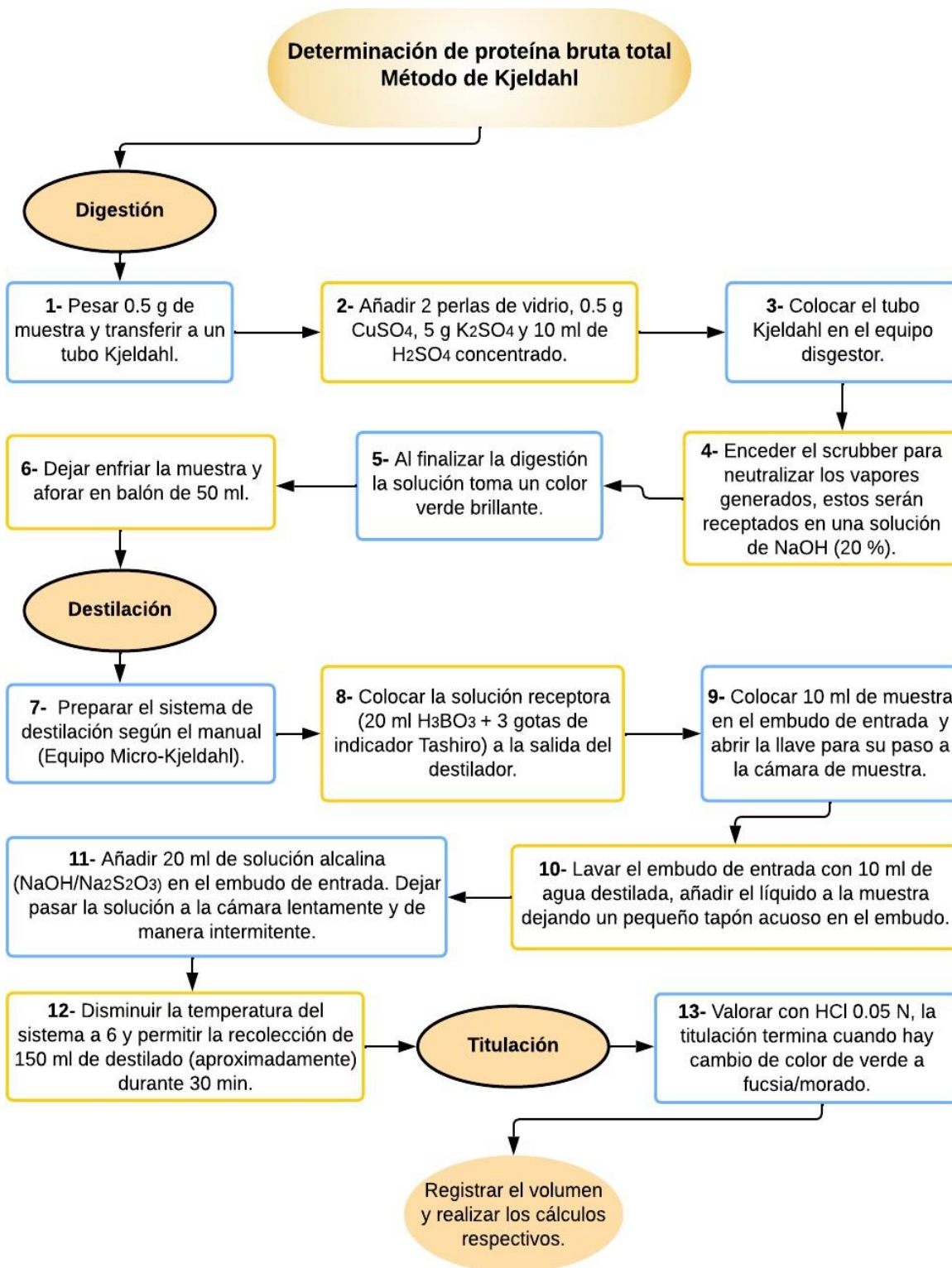


Figura 7. Procedimiento para la determinación de proteínas. Fuente: Autores.

2.5.4.3. Cálculo contenido de proteínas

Los cálculos para la determinación de proteínas se realizaron mediante la siguiente ecuación (10).

Ecuación 10. *Cálculo del contenido de proteínas totales.*

$$\% \text{ Proteína} = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl} \times 1.4 \times F}{P_M} \times \text{Dilución} \quad (10)$$

Nota. **V_{HCl}** = ml de ácido clorhídrico usados en la titulación, **N_{HCl}** = Normalidad del ácido clorhídrico, **F** = Factor de conversión de nitrógeno a proteínas, **P_M** = Peso de la muestra.

2.5.5. Determinación de carbohidratos

2.5.5.1. Fundamento

La determinación del contenido de carbohidratos se realiza mediante cálculo por diferencia en base al contenido total de nutrientes. De este 100 % de contenido de nutrientes se resta el porcentaje de contenido total de proteínas, grasas, cenizas, humedad, el resultado obtenido es la concentración de carbohidratos presentes en el alimento (Greenfield & Southgate, 2003).

2.5.5.2. Cálculo de contenido de carbohidratos

Los cálculos para la determinación de carbohidratos totales se realizaron mediante la siguiente ecuación (11).

Ecuación 11. *Cálculo del contenido de carbohidratos totales.*

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 \% - (\% \text{ Proteínas} + \% \text{ Grasas} + \% \text{ Cenizas} + \% \text{ Humedad}) \quad (11)$$

2.6. Análisis estadístico

Los datos que se obtuvieron a partir de las diferentes marchas analíticas se tabularon y los resultados se presentaron con medidas de tendencia central.

A partir de los resultados que se obtuvieron en el análisis de las 15 réplicas por cada parámetro se construyeron las gráficas de control de Levey-Jennings. El primer paso para la elaboración de la gráfica fue calcular la media aritmética y tres desviaciones estándar de los datos obtenidos. Posteriormente, se procedió a la elaboración de la gráfica donde el valor de

la media se señaló mediante una línea horizontal en el centro de la gráfica y las tres desviaciones estándar se representaron como líneas horizontales marcadas a intervalos adecuados. Los resultados de las marchas analíticas deben estar dentro de los límites establecidos en la gráfica (Albetkova et al., 2016). Para realizar la interpretación de cada una de las gráficas de Levey - Jennings se aplicaron las reglas de Westgard.

La tabulación, manejo de datos y la construcción de las gráficas de control se realizaron en Microsoft Excel 2019.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis proximal del arroz como patrón secundario

El análisis proximal del arroz crudo consistió en la determinación de humedad, cenizas, grasas, proteínas y carbohidratos, con 15 réplicas de cada parámetro en un lapso de 3 semanas consecutivas. Los resultados de cada parámetro del análisis proximal se expresaron en gramos de nutriente por cada 100 g de muestra (%).

Los resultados individuales de cada parámetro del análisis proximal se detallan en los Anexos A, B, C, D y E. La Tabla 4 presenta los resultados generales del análisis proximal en un contenido de materia seca del 90.9 ± 0.41 %.

Tabla 4. Resultados generales del análisis proximal del arroz crudo, expresados como media (X), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (%CV)

Nutrientes	$X \pm DE$	% CV
Humedad	9.10 ± 0.41	4.50
Cenizas	0.74 ± 0.015	2.05
Grasas totales	0.46 ± 0.013	2.97
Proteínas	5.50 ± 0.17	3.16
Carbohidratos totales	84.17 ± 0.43	0.51

El contenido de humedad es un indicativo de calidad en el arroz. Para que sea óptima, la humedad debe ser menor al 14 % durante su almacenamiento puesto que una humedad superior facilita la proliferación de microorganismos y da inicio a alteraciones enzimáticas, afectando su calidad (Ortíz & Soliz, 2007). Según Borrás & Franquet (2004), el límite de seguridad del contenido de humedad se encuentra entre el 12 – 13 % en el arroz pulido durante su almacenamiento para evitar su deterioro. El lote de arroz analizado en este trabajo presentó un contenido de humedad de $9.10 \% \pm 0.41$, lo que asegura su estabilidad y calidad durante la etapa de almacenamiento.

El contenido de cenizas es un indicativo de la concentración general de minerales en el alimento. En la matriz analizada, el contenido promedio de cenizas fue $0.74 \% \pm 0.015$. Este valor es ligeramente superior al reportado en Martínez (2017) y Banderas (2012), que presentaron contenidos de ceniza de $0.67 \% \pm 0.04$ y $0.52 \% \pm 0.03$, respectivamente.

El contenido de grasas constituye un importante indicativo de la calidad del arroz. Mientras menor sea la concentración de grasas, el arroz es menos susceptible a sufrir procesos de deterioro (rancidez hidrolítica, rancidez oxidativa) (Bhattacharya, 2011). En la matriz analizada, el contenido promedio de grasas fue $0.46 \% \pm 0.013$. Al comparar el resultado obtenido en el laboratorio se observa que es ligeramente inferior a los valores registrados en la literatura (0.9 %). Según Pinciroli (2015), el contenido de grasas en el arroz varía entre 0.4 - 0.6 % dependiendo del proceso de descascarillado al que ha sido sometido, debido a que en la cáscara se encuentra la mayor concentración de lípidos. Un estudio realizado por Banderas (2012) en 4 marcas comerciales de arroz reportó un contenido de grasas entre 0.47 - 0.93 %. Estos datos corroboran que los resultados obtenidos en el laboratorio se encuentran dentro de los valores de referencia para el contenido de lípidos en el arroz pulido.

El contenido promedio de proteínas totales en el arroz crudo fue $5.50 \% \pm 0.17$. Según Gil & Ruiz (2010), el contenido de proteínas del arroz pulido está en 7.3 %, otros autores como Pinciroli (2015), reportan que el contenido de proteínas está entre 7.3 - 8.3 %.

Borrás & Franquet (2004), indican que existe una gran variabilidad en la composición y características del arroz dependiendo de las diferentes especies del arroz y condiciones de cultivo, incluso pudiendo llegar a variar 6-7 puntos porcentuales para una misma especie, pero con distintas condiciones de cultivo. La fertilización nitrogenada juega un papel importante en la composición del arroz, debido a que aumenta el contenido de aminoácidos.

3.2. Gráficas de Levey-Jennings

Con los datos generados de las diferentes marchas analíticas se construyeron gráficas de Levey-Jennings para cada parámetro, los cuales servirán para el control de calidad interno del laboratorio en el que se puedan detectar errores que permitan aceptar o rechazar futuros resultados obtenidos con estas marchas analíticas. Con la finalidad de ejemplificar la aplicación de las gráficas de Levey-Jennings y las reglas de Westgard, se graficaron los resultados individuales dentro de las gráficas (Figura 8, 9, 10, 11 y 12).

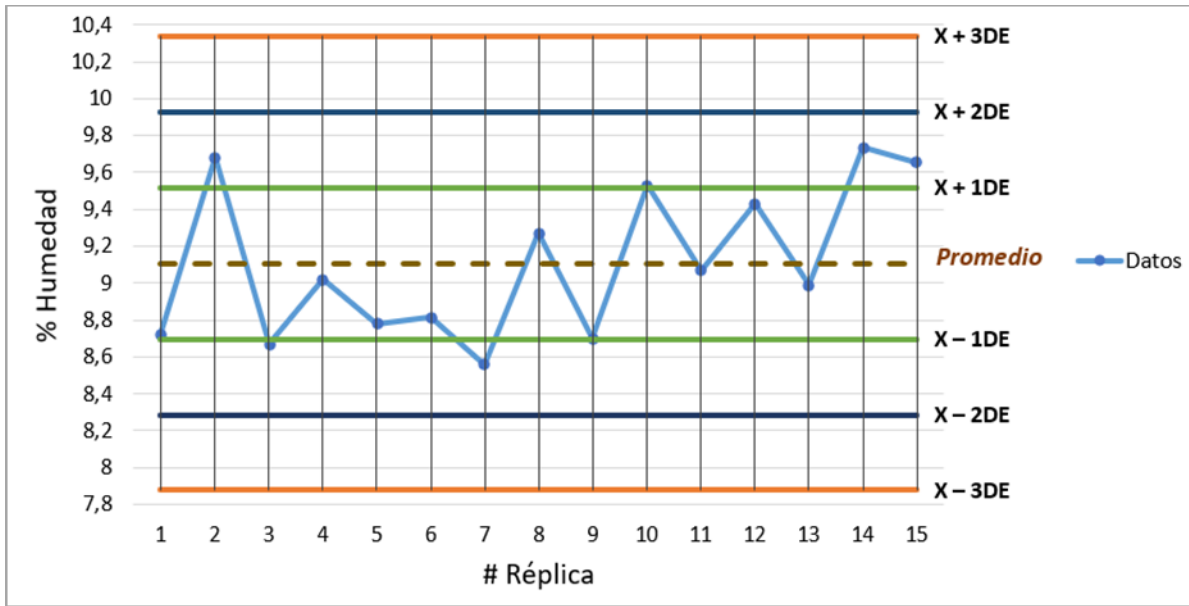


Figura 8. Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de humedad en arroz crudo, expresados como media (X) y desviación estándar (DE).

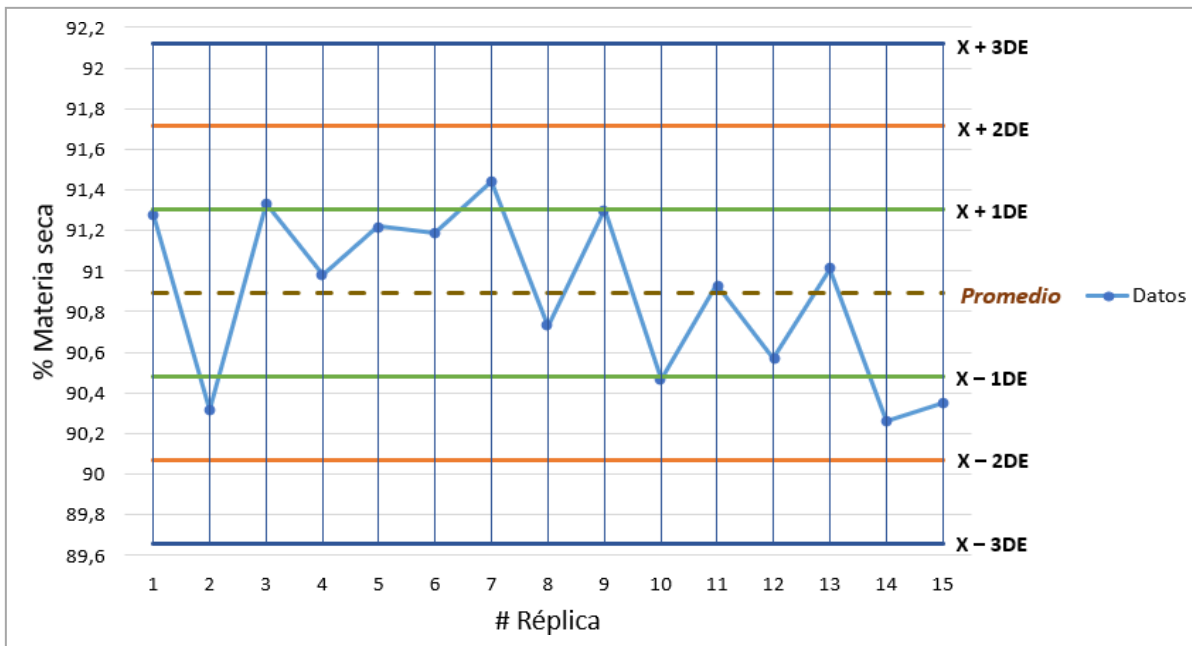


Figura 9. Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de materia seca en arroz crudo, expresados como media (X) y desviación estándar (DE).

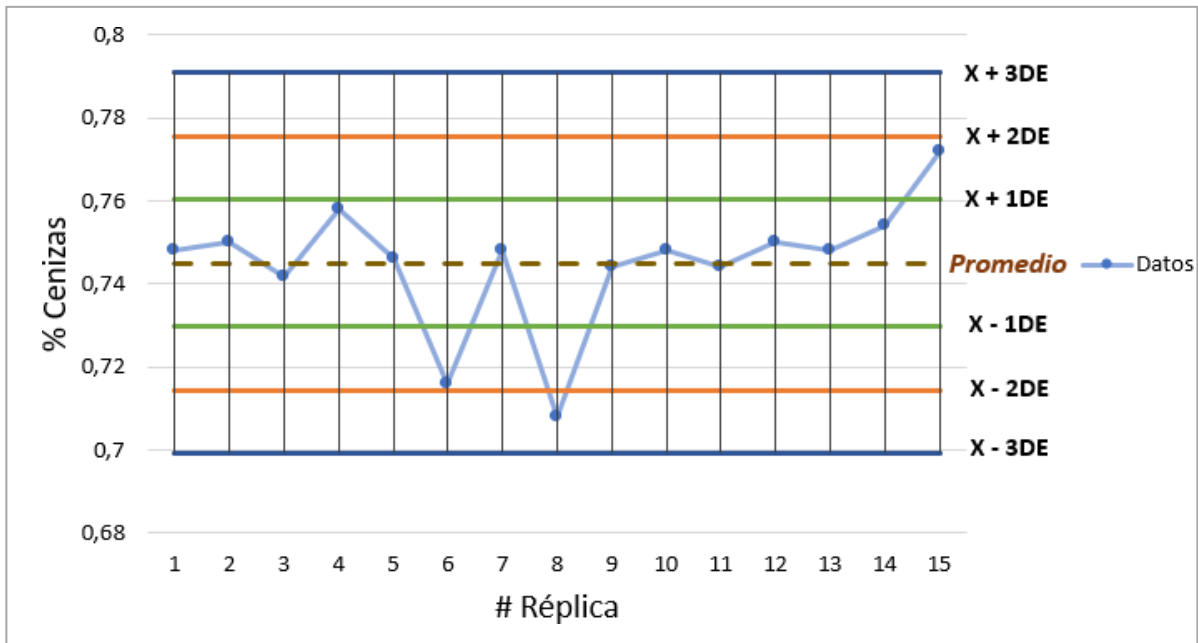


Figura 10. Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de cenizas en arroz crudo, expresados como media (X) y desviación estándar (DE).

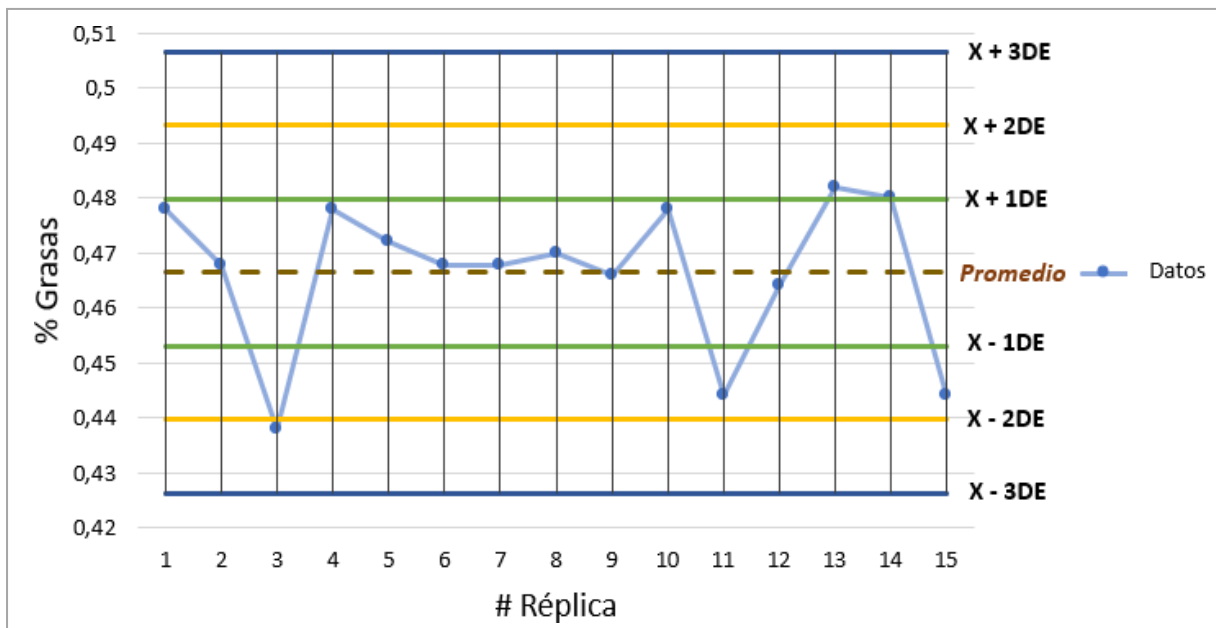


Figura 11. Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de grasas totales en arroz crudo, expresados como media (X) y desviación estándar (DE).

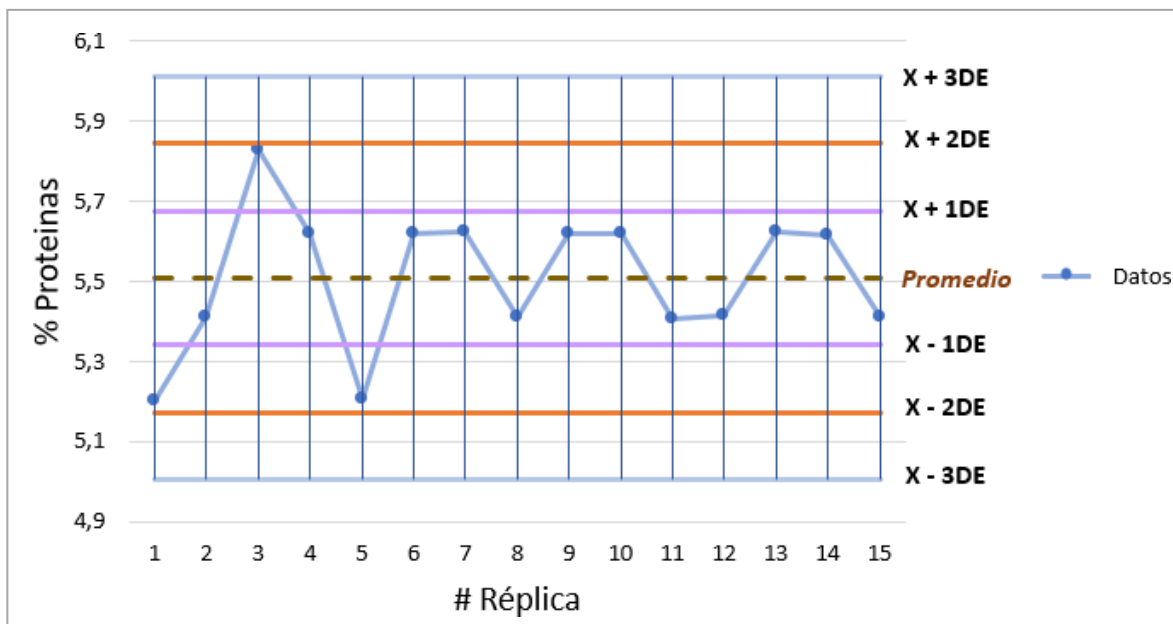


Figura 12. Gráfica de control de Levey-Jennings del contenido de proteínas en arroz crudo, expresados como media (X) y desviación estándar (DE).

Al graficar los valores obtenidos en las diferentes réplicas para cada parámetro se observó que los datos obtenidos estuvieron dentro del límite de dos desviaciones estándar, reflejando que los métodos analíticos empleados muestran una buena precisión y un error sistemático despreciable. Al aplicar las reglas de Westgard para la interpretación de las gráficas de Levey-Jennings se observó que en las gráficas de cenizas (Figura 10) y grasas (Figura 11) existe la violación de la Regla 1_{2s}. Cuando esta regla es violada alerta al operador sobre posibles problemas aleatorios o sistemáticos, pero al tratarse de una regla de advertencia no genera rechazo del conjunto de réplicas. En el caso de las gráficas para humedad (Figura 8), materia seca (Figura 9) y proteínas (Figura 12) se observó un cumplimiento absoluto de las reglas de Westgard, reflejando que el método analítico empleado muestra una buena precisión y un error sistemático despreciable lo que determina que no existe ningún problema dentro del análisis.

En el presente trabajo de titulación se analizaron los componentes nutricionales básicos en el arroz crudo en réplicas suficientes para construir las gráficas de control de Levey-Jennings y consecuentemente usar el arroz analizado como patrón secundario.

Los métodos analíticos empleados en los laboratorios siempre están expuestos a distintas variables como son errores aleatorios o sistemáticos que alteran la confiabilidad, precisión y exactitud de los resultados. Con el objetivo de realizar el control de calidad interno del laboratorio se elaboraron gráficas de Levey-Jennings para cada parámetro analizado. La

importancia del uso de las gráficas de Levey- Jennings y las reglas de Westgard radica en que permiten detectar y corregir los errores aleatorios y sistemáticos que se puedan presentar con el fin de generar datos de alta calidad y confiabilidad, garantizando que los resultados sean exactos y reproducibles (Hervás, 2007).

En el estudio realizado por Ávila (2014), se llevó a cabo la implementación de un programa de control de calidad interno del laboratorio para lo cual, se utilizaron herramientas como las gráficas de Levey-Jennings junto con las reglas de Westgard con el objetivo de controlar los análisis realizados y realizar medidas correctivas. El cumplimiento del programa de control de calidad generó una reducción del error total lo cual permite evidenciar que los resultados obtenidos en el análisis son confiables y útiles para la toma de decisiones.

Otro estudio realizado por Delgadillo, Romero & Arias (2009), menciona que el control de calidad dentro del laboratorio permite verificar la rectitud de cada uno de los procesos analíticos que se llevan a cabo. Para realizar el control de calidad se construyeron gráficas de distribución normal (Gráficas de Levey-Jennings) para vigilar el comportamiento de los valores de control. Para la interpretación de las gráficas se utilizaron las reglas de Westgard con lo cual se puede confirmar la precisión y exactitud a largo plazo de los estudios realizados debido a que los resultados obtenidos en las diferentes corridas analíticas quedaron agrupados en torno al promedio con una variación mínima tanto en dirección ascendente como descendente.

Sáez (2015), menciona que las gráficas de Levey-Jennings sirven para representar los valores sucesivos de control y permite observar el comportamiento diario de los controles de calidad internos del laboratorio dentro de los límites ± 3 DE. Además, permite observar la presencia de errores aleatorios o sistemáticos representados por dispersión de los resultados o por las tendencias respectivamente. Estos errores pueden ser generados por el operador, por alteraciones en el lote o modificaciones en los equipos. El estudio realizado por Sáez (2015), refiere que para interpretar las variaciones diarias de los controles de calidad interno se emplean las reglas de Westgard, dentro de estas se utilizan tres reglas de advertencia que permiten identificar errores sistemáticos y realizar las correcciones respectivas anticipadamente. Existen dos reglas denominadas mandatorias que indican la presencia de alteraciones graves que ponen en duda la confiabilidad de los resultados obtenidos por lo que se genera el rechazo de los resultados (Sáez et al., 2015).

Un patrón secundario juega un rol importante dentro del control de calidad ya que permite la calibración y estandarización equipos y reactivos con el objetivo de asegurar la

reproducibilidad de resultados confiables por parte del laboratorio (Costa, 2005; Moro, 2000). Al igual que los patrones primarios, los patrones secundarios deben presentar una concentración conocida y permanecer estable por un determinado periodo de tiempo con el propósito de ser utilizados como control de calidad en las posteriores marchas analíticas (Fernández & Mazziotta, 2005). Una de las desventajas que presentan los patrones primarios es que su obtención es de difícil acceso debido a su costo, por esta razón los laboratorios emplean patrones secundarios para la estandarización y calibración de instrumentos (García, 2006).

En un estudio realizado por González, Camargo & Burba (2007), sobre la obtención de un estándar secundario de cuantificación para la síntesis y purificación de allicina, se menciona que hasta el 2002 para la cuantificación de allicina se construía una curva de calibración mediante el uso de una sustancia patrón primario. Si bien este método generaba resultados satisfactorios, los costos eran elevados lo que hoy resulta inaccesible para determinados laboratorios. Por esta razón se generó la necesidad de buscar un método que sea rápido, accesible y de menor costo para estandarizar y evaluar los diferentes componentes del ajo. Una de las opciones fue el empleo de un estándar secundario preparado bajo condiciones controladas de laboratorio que permita obtener resultados confiables y seguros. El análisis de las muestras utilizando el patrón secundario reflejó que no existen diferencias significativas en los resultados con respecto a la cuantificación con un patrón primario.

En otro estudio realizado por Cabrera & Peralta (2016), en un producto con características similares al utilizado dentro de este estudio se tuvo como objetivo la elaboración de un estándar secundario en base de harina de centeno para análisis proximal. En este trabajo se sugirió que las características del producto fueron óptimas para ser utilizado como patrón secundario de análisis. Además, se determinó que esta matriz presentaba una vida media prolongada en condiciones ambientales adecuadas.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

El objetivo general de este estudio fue desarrollar un patrón secundario en base de arroz que pueda ser utilizado como una sustancia de referencia en posteriores marchas analíticas de análisis proximal. Tras la evaluación bromatológica de la matriz escogida, harina de arroz, se corroboró que presenta propiedades físicas y químicas consideradas como óptimas para ser un patrón secundario. El arroz crudo como patrón secundario presenta una estabilidad química y física que, en condiciones óptimas de almacenamiento, temperatura ($< 25^{\circ}\text{C}$) y humedad ($< 14\%$) puede permanecer estable durante un periodo de tiempo de alrededor de 2 años.

El empleo de este patrón secundario permitirá realizar un control de calidad regular del laboratorio como control de calidad de los diferentes métodos utilizados en el análisis proximal, así como también la calibración de equipos y validación de métodos. Para llevar a cabo el control de calidad dentro del laboratorio se emplean herramientas como las gráficas de control. En este estudio se utilizaron las gráficas de Levey-Jennings acompañadas de las reglas de Westgard para su interpretación, las cuales permiten detectar errores sistemáticos y aleatorios que pueden estar presentes durante el procedimiento analítico.

Las gráficas de Levey-Jennings se elaboraron en base al análisis de 15 réplicas para cada parámetro del análisis proximal. Para ejemplificar la aplicación de las gráficas de Levey-Jennings, se usaron los valores de las réplicas como si fueran muestras. En base a las reglas de Westgard, se observaron variaciones en los valores de cenizas y grasas que violaron la regla 1_{2s}. Sin embargo, la serie analítica no puede ser rechazada sin antes ser analizada con las 5 reglas de Westgard restantes (1_{3s}, 2_{2s}, R_{4s}, 4_{1s} y 10_x) ya que podría generar falsos rechazos. En las gráficas para humedad, materia seca y proteínas se observó el cumplimiento absoluto de las reglas permitiendo la aceptación de la serie de datos y demostrando que los métodos analíticos empleados cumplen con los requisitos de calidad.

4.2. Recomendaciones

- El patrón secundario desarrollado puede utilizarse para estudios a mayor escala en el que se incluyan otros laboratorios, con la finalidad de llevar a cabo un estudio comparativo inter-laboratorio con el objetivo de determinar la variabilidad de los resultados obtenidos entre los laboratorios y detectar sus posibles causas para realizar sus respectivas correcciones.

- Se recomienda realizar análisis periódicos del patrón secundario para la detección temprana de cambios en la composición de la matriz alimentaria.

Referencias

- Acevedo, M., Belmonte, U., & Castrillo, W. (2006). Origen, Evolución y Diversidad del Arroz. *Agronomía Tropical*, 56(2), 151–170.
- ADS Quality. (2012). *Enciclopedia de la calidad*. ARTEGRAF, S.A.
- Aguirre, M., & Vargas, E. (2011). *El salvado de arroz: Procesos de esterilización y usos potenciales en la industria colombiana*. Editorial Tadeo Lozano.
- Albetkova, A., Barteluk, R., Beger, A., Cognat, S., Collins, C., Dubois, P., Estran, C., Fine, G., Granade, S., Howard, S., Kojima, K., Liu, X., McGeary, J., Martin, R., Menna, S., Noble, M., Pierson, A., Pollock, A., Rayfield, M., ... Zwetyenga, J. (2016). *Sistema de gestión de la calidad en el laboratorio (LQMS)*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud (OMS): <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/252631/9789243548272-spa.pdf;sequence=1>
- Álvarez, J. (2004). *Bioquímica nutricional y metabólica del bovino en el trópico*. (Primera). Editorial Universidad de Antioquia.
- Andrade, F., Hurtado, J., Celi, R., Valdiviezo, E., Alcívar de García, S., Mestanza, S., Arias de López, M., Espinoza, A., Armijos, F., Carrasco, L., Vivas, L., Triviño, C., Peñaherrera, L., Ronquillo, S., Bazante, G., & Viteri, G. (2007). *Manual del cultivo de arroz* (Segunda ed.). Guayaquil: INIAP.
- Armendáriz, J. (2016). *Preelaboración y conservación de los alimentos*. (Segunda). Ediciones Paraninfo, S.A.
- Avila, G. (2014). *Determinación del error total máximo en las evaluaciones de tiempo de protrombina y tromboplastina con la aplicación de un programa de control de calidad interno en el laboratorio clínico de Solca de la ciudad de Ambato*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato - Repositorio digital.
- Banderas, M. (2012). *Análisis proximal de los principales componentes nutricionales de arroz pulido, harina de trigo de flor, maíz amarillo y papa chola*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica del Ecuador: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/5359/T-PUCE-5585.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Berenson, M., Levine, D., & Krehbiel, T. (2006). *Estadística para administración*. Editorial Pearson Educación.
- Bhattacharya, K. (2011). *Rice quality: A guide to rice properties and analysis* (Primera). Woodhead Publishing Limited.
- Borrás, C., & Franquet, J. (2004). *Variedades y Mejora del Arroz (Oryza sativa, L.)* (Primera). CopyRapid.
- Burriel, O., Salavera, D., & Gimeno, V. (2001). *Termodinámica química* (Vol. 1). Cali: RECITEIA.
- Cabrera, J., & Peralta, J. (2016). *Análisis bromatológico inter-laboratorio de harina de centeno a ser utilizado como patrón secundario de análisis*. Obtenido de Universidad de Cuenca - Repositorio digital.
- Canosa, M. (2009). *Desarrollo de la metodología analítica para la determinación de Triclosán y Parabenes. Aplicación al estudio de su distribución y transformación en muestras ambientales*. (Primera). Universidad Santiago de Compostela.
- Cardenas, R. (2011). *Metrología e Instrumentación*. (Primera). Grin Verlag.
- Ceballos, H., & Ospina, B. (2002). *La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización*. CIAT.
- Condori, M., & Morales, L. (2012). *Calidad en el laboratorio de bioquímica: concepto, herramientas y ejemplos de aplicación*. Madrid: Asociación Española de Biopatología Médica.
- Costa, J. (2005). *Diccionario de Química Física* (Primera). Ediciones Díaz de Santos.
- Degiovanni, V., Martínez, C., & Motta, F. (2010). *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Tomo 1*. Cali: CIAT.
- Delgadillo, H., Romero, M., & Arias, J. (2009). Evaluación del control de calidad interno en la determinación de glicemia en un laboratorio clínico especializado. Ciudad Bolívar, Estado Bolívar. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 21(1), 40-46. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739438007.pdf>
- Dharan, M. (2021). *Control de calidad en los laboratorios clínicos*. Editorial Reverté.

- Escamilla, Adolfo. (2014). *Metrología y sus aplicaciones*. (Primera). Grupo Editorial Patria, S.A.
- FAO. (1994). *El arroz en la nutrición humana*. (Vol. 26). Food & Agriculture Org.
- Fernández, C., & Mazziotta, D. (2005). *Gestión de la calidad en el laboratorio clínico*. (Primera). Editorial Médica Panamericana.
- Gallegos, G. (2012). *Elaboración de productos de bollería*. IC Editorial.
- García, E., & Fernández, I. (2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Valencia.
- García, M. (2006). *Auxiliares de laboratorio. Xunta de Galicia. Grupo IV. Temario y Test*. (Primera). Editorial MAD.
- Gil, A., & Ruiz, M. (2010). *Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos: Vol. Volumen II* (Segunda). Médica Panamericana, S.A.
- Gómez, R., Moscoso, H., Retamales, E., & Valenzuela, C. (2015). *Guía técnica para control de calidad de mediciones cuantitativas en el laboratorio clínico*. Obtenido de Instituto de Salud Pública - Gobierno de Chile: https://www.ispch.cl/sites/default/files/Guia_Tecnica_Control_Calidad_Mediciones_Cuantitativas.pdf
- Gómez, L., & Sáez, S. (2006). *Sistema de mejora continua de la calidad en el laboratorio: Teoría y práctica*. Valencia: Universidad de Valencia.
- González, Á. (2019). *Principios de Bioquímica Clínica y Patología Molecular* (Tercera Edición). Elsevier Ghealth Sciences.
- González, R., Camargo, A., & Burba, J. (2007). Obtención de un estándar secundario de cuantificación para la síntesis y purificación de allicina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 39(2), 61-70. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837654008.pdf>
- Greenfield, H., & Southgate, D. (2003). *Food Composition Data Production- Management and Use* (Segunda Edición). FAO.
- Griful, E., & Canela, M. (2002). *Gestión de calidad* (Primera Edición). Ediciones UPC.

- Güell, R., Insa, N., Nogue, X., Ros, J., & Ventura, S. (2010). *Principios de preanalítica en atención primaria*. Editorial Visión Libros.
- Gutiérrez, C. (2005). *Introducción a la metrología experimental* (Segunda Edición). Editorial Limusa, S.A.
- Harris, D. (2007). *Análisis Químico Cuantitativo* (Tercera Edición). Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- Hernández, M., & Sastre, A. (1999). *Tratado de Nutrición*. Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Hervás, F. (2007). *El hospital empresa y la sanidad asistencial: Calidad y rentabilidad*. (Primera Edición). Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Ladrón de Guevara, M. (2022). *Realización de elaboraciones básicas y elementales de cocina y asistir en la elaboración culinaria*. Editorial Tutor Formación.
- Lamarque, A., & Maestri, D. (2008). *Fundamentos teóricos prácticos de química orgánica* (Primera). Encuentro Grupo Editors.
- Martínez, J., Hernández, J., & Arias, A. (2017). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de arroz (*Oryza sativa* L) blanco e integral. *Revista Alimentos Hoy*, 25(41), 15-30. Obtenido de https://acta.org.co/acta_sites/alimentos hoy/index.php/hoy/article/view/446/364
- Moro, M. (2000). *Metrología: Introducción, Conceptos e Instrumentos*. Universidad de Oviedo.
- NTE INEN-ISO 8262-3. (2013). *Productos lácteos y alimentos a base de leche - Determinación del contenido de grasa por el método gravimétrico Weibull - Berntrop (Método de referencia) Parte 3: Casos especiales (IDT)*. Obtenido de: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_8262-3.pdf
- Ortíz, A & Soliz, L. (2007). *El arroz en Bolivia*. Editorial CIPCA.
- Osorio, R. (2009). *Manual de técnicas de laboratorio clínico*. (Primera Edición). Universidad de Antioquia.
- Paredes, M., Becerra, V., & Donoso, G. (2021). *100 años del cultivo del arroz en Chile en un contexto internacional. 1920-2020. Tomo I*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán.

- Pincioli, M. (2010). *Proteínas de arroz: Propiedades estructurales y funcionales*. Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDCA).
- Pincioli, M., Ponzio, N., & Salsamendi, M. (2015). *El arroz alimento de millones (Primera)*. E-Book.
- Portuondo, Y., & Portuondo, J. (2010). La repetibilidad y reproducibilidad en el aseguramiento de la calidad de los procesos de medición. *Tecnología Química*, 3(2), 117–121.
- Restrepo, J. (2007a). *Metrología - Aseguramiento Metrológico Industrial. Tomo II: Vol. Tomo II (Primera)*. Fondo Editorial ITM.
- Restrepo, J. (2007b). *Metrología II (Segunda Edición)*. Fondo Editorial ITM.
- Restrepo, J. (2007c). *Metrología - Aseguramiento Metrológico Industrial. Tomo I.: Vol. Tomo I (Primera)*. Fondo Editorial ITM.
- Riaño, N. (2007). *Fundamentos de química analítica básica. Análisis Cuantitativo (Segunda)*. Editorial Universidad de Caldas.
- Riquelme, J. (2012). *Cosecha mecanizada del arroz*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Rodríguez, H., Quintanar, E., & Mejía, M. (2004). *El banco de sangre y la medicina transfusional*. Editorial Médica Panamericana, S.A.
- Sáez, A., Albajar, P., Valpassos, A., & Abol, J. (2015). Control de calidad en el tamizaje para enfermedades infecciosas en bancos de sangre. ¿Por qué? y ¿cómo? *The journal of the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 26(4), 286-294. Obtenido de <https://www.ifcc.org/media/334111/eJIFCC2015Vol26No4pp286-294.pdf>
- Sánchez, A., Gómez, B., & Billiris, A. (2019). Almacenamiento de arroz: influencia en la inocuidad del grano. *Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay* (19), 109-124. doi:10.26461/19.08
- Shinya, H. (2013). *La enzima prodigiosa (La enzima prodigiosa 1): Una forma de vida sin enfermar*. Penguin Random House Grupo Editorial México.
- Sierra, I., Pérez, D., Gómez, S., & Morante, S. (2010). *Análisis Instrumental (Primera Edición)*. Net Biblio, S.L.

- Toledo, D. (2010). *Determinación del valor nutritivo y funcional de tres clones seleccionados de Arazá y seis de Borojó, y evaluación del proceso para la obtención de pulpas pasteurizadas y congeladas*. Escuela Politécnica Nacional.
- Tong, C., & Bao, J. (2019). Rice lipids and rice bran oil. In *Rice* (pp. 131–168). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811508-4.00005-8>
- Valcárcel, M., & Ríos, A. (2012). *La calidad en los laboratorios analíticos* (Primera Edición). Editorial Reverté, S.A.
- Verdoy, P., Mahiques, J., Prades, R., & Pellicer, S. (2006). *Manual de control estadístico de calidad: Teoría y aplicaciones*. Castelló de la plana: Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Vilchis, M. (2014). *Coeficiente de variación*. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo.
- Westgard, J. (2013). *Prácticas básicas del control de calidad*. QC Westgard, INC.

Anexos

Anexo A. Resultados analíticos de la humedad y materia seca en arroz crudo.

Humedad y Materia seca															
# Réplica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso C+V+A	60.79	61.90	62.11	55.50	60.95	58.73	60.29	54.54	63.67	57.33	64.03	62.22	57.17	54.68	58.32
Peso muestra	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Tiempo															
2h	65.36	66.47	66.68	60.07	65.52	63.31	64.86	59.08	68.23	61.88	68.58	66.77	61.73	59.22	62.87
30 min	65.37	66.47	66.69	60.07	65.53	63.31	64.87	59.08	68.23	61.88	68.58	66.77	61.74	59.22	62.87
30 min	65.38	66.48	66.68	60.08	65.54	63.31	64.88	59.08	68.24	61.87	68.58	66.76	61.73	59.22	62.84
30 min	65.37	66.47	66.69	60.08	65.54	63.31	64.87	59.08	68.24	61.86	68.57	66.76	61.73	59.22	62.84
30 min	65.37	66.47	66.68	60.08	65.53	63.31	64.87	59.09	68.24	61.86	68.58	66.75	61.73	59.21	62.85
30 min	65.36	66.44	66.68	60.06	65.52	63.30	64.87	59.08	68.24	61.86	68.58	66.76	61.73	59.20	62.84
30 min	65.36	66.42	66.69	60.05	65.51	63.30	64.87	59.09	68.24	61.86	68.58	66.76	61.73	59.20	62.84
30 min	65.35	66.42	66.68	60.05	65.51	63.29	64.87	59.08	68.25	61.86	68.57	66.75	61.73	59.20	62.83
% Materia seca	91.28	90.31	91.33	90.98	91.22	91.18	91.44	90.73	91.30	90.47	90.93	90.57	91.00	90.26	90.35
% Humedad	8.71	9.68	8.66	9.01	8.77	8.81	8.55	9.26	8.69	9.53	9.06	9.42	8.99	9.73	9.64
Promedio	9.10														
Desviación estándar	0.41														
Coficiente de variación	4.50														

* Peso C+V+A: Peso del crisol + varilla + arena de mar.

Anexo B. Resultados analíticos del contenido de cenizas en arroz crudo.

Cenizas															
# Réplica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso de crisol + cenizas	39.83	40.82	38.43	37.75	41.50	38.23	40.28	37.11	40.44	40.02	39.43	41.05	38.65	40.33	43.03
Peso del crisol vacío	39.80	40.79	38.40	37.71	41.46	38.19	40.25	37.07	40.40	39.98	39.40	41.02	38.61	40.30	42.99
Peso muestra	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
% Cenizas	0.74	0.74	0.74	0.75	0.74	0.71	0.74	0.70	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.75	0.77
Promedio	0.74														
Desviación estándar	0.01														
Coefficiente de variación	2.05														

Anexo C. Resultados analíticos del contenido de grasas totales en arroz crudo.

Grasas totales															
# Réplica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso de balón + perlas de ebullición	104.55	101.52	113.69	135.68	142.99	138.52	113.69	101.52	135.69	138.53	143.00	104.54	113.69	138.37	145.60
Peso de la muestra	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Peso de balón + residuo de grasa	104.57	101.54	113.71	135.70	143.02	138.54	113.71	101.54	135.71	138.56	143.03	104.56	113.71	138.40	145.62
% Grasas	0.47	0.46	0.43	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	0.44	0.46	0.48	0.47	0.44
Promedio	0.46														
Desviación estándar	0.01														
Coefficiente de variación	2.97														

Anexo D. Resultados analíticos del contenido de proteínas totales en arroz crudo.

Proteínas totales															
# Réplica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso de la muestra	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Volumen HCl 0.05 N	1.25	1.30	1.40	1.35	1.25	1.35	1.35	1.30	1.35	1.35	1.30	1.30	1.35	1.35	1.30
% Proteínas	5.20	5.40	5.82	5.61	5.20	5.62	5.62	5.41	5.62	5.61	5.40	5.41	5.62	5.61	5.41
Promedio	5.50														
Desviación estándar	0.17														
Coefficiente de variación	3.16														

Anexo E. Resultados analíticos de carbohidratos totales en arroz crudo.

Carbohidratos totales															
# Réplica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Humedad	8.71	9.68	8.66	9.01	8.77	8.81	8.55	9.26	8.69	9.53	9.06	9.42	8.99	9.73	9.64
Cenizas	0.74	0.74	0.74	0.75	0.74	0.71	0.74	0.70	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.75	0.77
Grasas totales	0.47	0.46	0.43	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	0.44	0.46	0.48	0.47	0.44
Proteínas totales	5.20	5.40	5.82	5.61	5.20	5.62	5.62	5.41	5.62	5.61	5.40	5.41	5.62	5.61	5.41
Carbohidratos totales	84.85	83.68	84.32	84.12	84.79	84.38	84.60	84.14	84.47	83.62	84.33	83.94	84.15	83.41	83.72
Promedio	84.17														
Desviación estándar	0.43														
Coefficiente de variación	0.51														