



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis

Detección de adulteración en leche fresca aplicando Espectrometría Infrarrojo Cercano en la región San Martín

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Willy Anderson Tunjar García
<https://orcid.org/0009-0009-3697-7378>

Asesor:

Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
<https://orcid.org/0000-0003-4302-6852>

Tarapoto, Perú

2024



FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Tesis


Detección de adulteración en leche fresca aplicando espectrometría infrarrojo cercano en la región San Martín

Para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial


Autor:

Willy Anderson Tunjar García

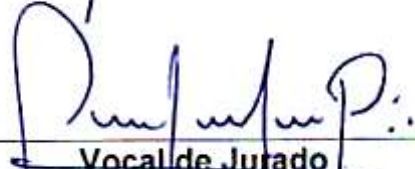
Sustentado y aprobado el 09 de mayo del 2024, ante el honorable jurado:




Presidente de Jurado
Ing. Dr. Abner Félix Obregón
Lujerio



Secretario de Jurado
Ing. Dr. Enrique Navarro
Ramírez



Vocal de Jurado
Ing. Dr. José Luis Pasquel
Reátegui



Asesor
Ing. Dr. Oscar Wilfredo
Mendieta Taboada

Tarapoto, Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN CONDUCENTES A
GRADOS Y TÍTULOS N° 021-2024

Jurado reconocido con Resolución N° 009-2023-UNSM/FIAI-CF/NLU.

A las 17:15 horas del día nueve de mayo del 2024, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – Ciudad Universitaria, inició el acto público de sustentación del trabajo de tesis “DETECCIÓN DE ADULTERACION EN LECHE FRESCA APLICANDO ESPECTROMETRÍA INFRARROJO CERCANO EN LA REGIÓN SAN MARTÍN” para optar el título profesional de INGENIERO AGROINDUSTRIAL, presentado por el **Bach. Willy Anderson Tunjar García**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por Ing. Dr. Abner Félix OBREGÓN LUJERIO (presidente del jurado), Ing. Dr. Enrique NAVARRO RAMÍREZ (secretario), Ing. Dr. José Luis PASQUEL REÁTEGUI (vocal), acompañados por el Ing. Dr. Oscar Wilfredo MENDIETA TABOADA (asesor); el presidente del jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Resolución N° 009-2023-UNSM/FIAI-CF/NLU.

Seguidamente el autor expuso el trabajo de investigación y el jurado evaluador realizó las preguntas pertinentes, respondidas por la sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor.


Una vez terminada la ronda de preguntas, el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.


Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue DECISI. E.T.E. (17).

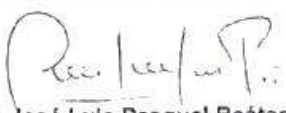
De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es APROBATORIA y correspondiente a la calificación de M.O.V. BUENO. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que la autora deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendario.


Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones N° 001-2024 de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

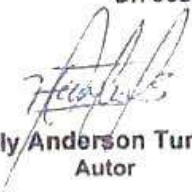
Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 18:25 horas, el mismo día 09 de mayo del 2024.


Dr. Abner Félix Obregón Lujerio
Presidente


Dr. Enrique Navarro Ramírez
Secretario


Dr. José Luis Pasquel Reátegui
Vocal


Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
Asesor


Bach. Willy Anderson Tunjar García
Autor

Declaratoria de autenticidad

Willy Anderson Tunjar García, con DNI N° 45957423, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Detección de adulteración en leche fresca aplicando espectrometría infrarrojo cercano en la región San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 09 de mayo del 2024.



.....
Willy Anderson Tunjar García

DNI N° 45957423

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Detección de adulteración en leche fresca aplicando Espectrometría Infrarrojo Cercano en la región San Martín</p>	<p>Área de investigación: Ingeniería y Tecnología Línea de investigación: Ingeniería de procesos Sublínea de investigación: Ingeniería de Procesos Agroindustriales Grupo de investigación (indicar resolución): Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Willy Anderson Tunjar García</p>	<p>Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0009-0009-3697-7378</p>
<p>Asesor: Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ingeniería Agroindustrial Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Unidad o Laboratorio Ingeniería Agroindustrial https://orcid.org/0000-0003-4302-6852</p>

Dedicatoria

A mi amada esposa Cinday Jurneth, por su incansable y valioso apoyo para salir adelante en los momentos difíciles.

A mis hijos Mhia Luanna y Derek Anderson, que son mi mayor motivación para nunca rendirme en la vida y luchar para ser un ejemplo para ellos.

A mis padres, Artemio Tunjar y Lucia E. García, junto a mis hermanos Alexander, Jessica Janeth y Richard Willer.

Agradecimientos

Principal agradecimiento a Dios, por concederme la vida y salud.

A mi familia por su compromiso y estímulo constante, además del apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

A todas las personas que, de una y otra manera me han brindado su valioso apoyo para la realización de este trabajo.

Agradecimiento especial:

Ing. MSC Richer Garay Montes, por el apoyo y acompañamiento en el desarrollo experimental de la Tesis.

Dr. Ing. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada, por su valioso asesoramiento durante la ejecución de la presente Tesis.

Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.2. Fundamentos teóricos	20
2.2.1. La espectroscopia infrarroja cercana o espectroscopia NIR.....	20
2.2.2. Fundamentos de la técnica NIRS.....	20
2.2.3. Espectroscopia en el Infrarrojo Cercano	21
2.2.4. Aplicaciones de la técnica NIRS.....	23
2.2.5. La Leche	24
2.2.6. Composición de la leche	24
2.2.7. Adulteración de la leche	25
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Lugar de ejecución	27
3.1.1. Contexto de la investigación.....	27
3.1.2. Periodo de ejecución	27
3.1.3. Materia Prima	27
3.2. Diseño Experimental.....	27
3.3. Materiales y Equipos.....	28
3.3.1. Materiales.....	28
3.3.2. Equipos e instrumentos.....	28
3.3.3. De Laboratorio	28
3.4. Metodología experimental	28
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Identificación y discriminación de muestras de leches de vaca adulteradas con diferentes porcentajes de contaminantes.	31
4.2. Modelo de predicción de adulteración a diferentes porcentajes de agua ultra pura, harina de soya, leche en polvo, frente a muestras genuinas	36

4.3. Determinación de la autenticidad de las muestras leche procedentes de 03 localidades del Altomayo (Soritor, Rioja y Calzada), distribuidas en la región San Martín.....	41
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS.....	57

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Regiones del espectro electromagnético entre 780 y 10⁶ nm</i>	22
Tabla 2 <i>Composición porcentual de la leche</i>	25
Tabla 3 <i>Adulteración de leche pura de vaca procedente de 03 localidades del Alto Mayo (%)</i>	29
Tabla 4 <i>Composición físico química de muestras de leche procedentes de tres localidades</i>	32
Tabla 5 <i>Longitud de onda y absorbancia de muestras de leche según los picos obtenidos en diferentes localidades</i>	34
Tabla 6 <i>Comportamiento de la leche según sus enlaces relacionados a su energía absorbida en el infrarrojo cercano</i>	34
Tabla 7 <i>Reporte de calibración por el método cuantitativo de adulteración de harina de soya en leche</i>	39
Tabla 8 <i>Reporte de calibración por el método cuantitativo de adulteración de agua ultra pura en leche</i>	39
Tabla 9 <i>Reporte de calibración por el método cuantitativo de adulteración con leche en polvo en leche</i>	39
Tabla 10 <i>Descomposición de la Regresión Mínimos Parciales – PLS en la leche adulterada con agua ultra pura</i>	42
Tabla 11 <i>Descomposición de la Regresión Mínimos Parciales – PLS en la leche adulterada con leche en polvo</i>	42
Tabla 12 <i>Descomposición de la Regresión Mínimos Parciales – PLS en la leche adulterada con harina de soya</i>	43
Tabla 13 <i>Análisis propio del Agua Ultra Pura: basado en datos X centrados en la media y datos Y centrados en la media (varianza espectral total (X) = 0,003)</i>	43
Tabla 14 <i>Análisis propio Leche en Polvo: basado en datos X centrados en la media y datos Y centrados en la media (varianza espectral total (X) = 0,003)</i>	44
Tabla 15 <i>Análisis propio de Harina de Soya: basado en datos X centrados en la media y datos Y centrados en la media (varianza espectral total (X) = 0,003)</i>	44
Tabla 16 <i>Niveles de los valores obtenidos de la adulteración de leche con Agua Ultra Pura</i>	45
Tabla 17 <i>Niveles de los valores obtenidos de la adulteración de leche con Leche en Polvo</i>	45
Tabla 18 <i>Niveles de los valores obtenidos de la adulteración de leche con Harina de Soya</i>	46
Tabla 19 <i>Regresión Lineal Múltiple (MLR) completa para el Agua Ultra Pura</i>	46

Tabla 20	<i>Regresión Lineal Múltiple (MLR) completa para la Leche en Polvo</i>	46
Tabla 21	<i>Regresión Lineal Múltiple (MLR) completa para la Harina de Soya</i>	47
Tabla 22	<i>Porcentaje de adulteración y valor calculado del calibrado para los adulterantes con Agua Ultra Pura, Leche en Polvo y Harina de Soya.</i>	47
Tabla 23	<i>Porcentajes de predicción de muestras de leche genuinas con respecto a la adulteración</i>	49

Índice de figuras

Figura 1 Espectro electromagnético	22
Figura 2 Bandas de absorción en la región NIR	23
Figura 3 Combinación espectral de los componentes de la leche pura	31
Figura 4 Superposición de muestras de leche original procedentes de las localidades de Calzada, Rioja y Soritor	33
Figura 5 Resumen de datos experimentales obtenidos de leche adulterada con agua ultrapura	36
Figura 6 Resumen de datos experimentales obtenidos de leche adulterada con Harina de Soya	37
Figura 7 Resumen de datos experimentales obtenidos de leche adulterada con Leche en Polvo	37
Figura 8 Comportamiento de muestras de leche adulteradas con agua ultra pura con respecto a la absorbancia y longitud de onda.	37
Figura 9 Comportamiento de muestras de leche adulteradas con harina de soya con respecto a la absorbancia y longitud de onda.	38
Figura 10 Comportamiento de muestras de leche adulteradas con Leche en polvo con respecto a la absorbancia y longitud de onda.	38
Figura 11 Comportamiento de la leche adulterada con harina de soya calculado Vs Especificado	40
Figura 12 Comportamiento de la leche adulterada con agua ultra pura calculado Vs Especificado	41
Figura 13 Comportamiento de la leche adulterada con leche en polvo calculado Vs Especificado	41

RESUMEN

Utilizando la espectroscopia de infrarrojos cercanos (NIR), este estudio trató de identificar y diferenciar muestras de leche de vaca adulterada que contenían proporciones variables de agua ultra-pura (0,25% a 50%), harina de soja (0,25% a 20%) y leche en polvo (0,25% a 20%) de las pruebas auténticas. Al hacerlo, se desarrolló un modelo para predecir la adulteración y determinar la autenticidad de las muestras de leche en tres localidades de Alto Mayo. Para la construcción de los modelos se utilizaron las medias de los espectros de absorción triple en un rango de longitudes de onda de 4000 a 10000 cm^{-1} . Los datos espectrales se obtuvieron de la IRN a una temperatura ambiente de 21,1°C y durante una duración de 30 segundos. Antes del comienzo del experimento, el instrumento (espectrómetro NIR-FTIR) fue calibrado a una corrección de línea de base de 210 y mediante la integración de 64 escaneos. Se prepararon las diluciones de muestra en el rango de 0,25 a 50% para agua ultra pura y de 0,25 a 20% para harina de soja y leche en polvo respectivamente, así como muestras de validación. Para probar los métodos se utilizó el Espectrómetro NIR-FTIR marca Perkin Elmer, con el software Spectrum Quant. Las calibraciones múltiples demostraron la identificación y discriminación de los espectros para la presencia de la grasa C-H en la leche entre los 9091 y 8333 cm^{-1} , el sobre tono de la vibración de estiramiento OH del agua cercano a 6891 cm^{-1} , proteínas cercanas al grupo amino N-H aproximadamente en 6135 cm^{-1} y finalmente carbohidratos C-O entre 4665 y 4574 cm^{-1} . Para el modelo de predicción, los modelos cuantitativos alcanzan el 99,99% de R^2 , es decir que el coeficiente de determinación o diseño aplicado al ensayo, presenta un alto grado de confianza de los resultados predichos. Los modelos multivariados de la Propiedad de Correlación (PC) y estimación de error estándar, presentó una desviación predictiva residual RPD superior a 2,5 que indica que el rendimiento del modelo puede considerarse excelente, calificándose para la aplicación por ser >1 , la autenticidad de la leche frente a los adulterados, el error estándar se encuentra alrededor de 2,64; 3,69 y 2,8 valores menores al 10% referidos por otros autores. El porcentaje (%) de varianza se encuentra por encima del 99,99%. En conclusión, el método empleado para la determinación de adulteración de leche con agua ultra pura, leche en polvo y harina de soja por espectroscopia NIR-FTIR es una herramienta de detección y cuantificación confiable.

Palabras clave: Adulteración, discriminación, NIR, leche, espectros.

ABSTRACT

The aim of this research was to identify and distinguish samples of cow's milk adulterated with different percentages of ultra pure water (0,25% to 50%), soy flour (0,25% to 20%), milk powder (0,25% to 20%), versus genuine samples, using the near infrared spectroscopy technique (NIR), in order to obtain a prediction model of adulteration and the authenticity of the milk samples in three localities of Altomayo. The averages of the triple absorption spectra over a wavelength range of 4000 to 10000 cm^{-1} were used to construct the models. The spectral data were obtained from the NRI at an ambient temperature of 21.1°C and for a duration of 30 seconds. Prior to the start of the experiment, the instrument (NIR-FTIR spectrometer) was calibrated to a baseline correction of 210 and by integrating 64 scans. Sample dilutions were prepared in the range of 0.25 to 50% for ultrapure water and 0.25 to 20% for soybean meal and milk powder, respectively, as well as validation samples. A Perkin Elmer NIR-FTIR spectrometer with Spectrum Quant software was used to test the methods. Multiple calibrations demonstrated the identification and discrimination of spectra for the presence of C-H fat in milk between 9091 and 8333 cm^{-1} , the overtone of the OH stretching vibration of water near 6891 cm^{-1} , proteins near the N-H amino group at approximately 6135 cm^{-1} and finally C-O carbohydrates between 4665 and 4574 cm^{-1} . The quantitative models for the prediction model reach 99.99% of R^2 , which means that the coefficient of determination or design applied to the test, presents a high degree of confidence in the predicted results. The multivariate models of Correlation Property (CP) and standard error estimation, presented a residual predictive deviation RPD higher than 2.5 which indicates that the performance of the model can be considered excellent, qualifying for the application for being >1 , the authenticity of the milk against adulterated, the standard error is around 2.64; 3.69 and 2.8 values lower than 10% referred by other authors. The percentage (%) of variance is above 99,99%. In conclusion, the method used for the determination of adulteration of milk with ultrapure water, milk powder and soybean meal by NIR-FTIR spectroscopy is a reliable detection and quantification tool.

Keywords: Adulteration, discrimination, NIR, milk, spectroscopy, milk powder, soybean meal.



CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La adulteración es la degradación de la calidad de un alimento mediante un accionar inadecuado e intencional; esto podría ser realizado en diferentes combinaciones, reemplazo o exclusión en parte de elementos presentes en el alimento (Calderón et al., 2013).

El fraude de la leche afecta considerablemente a la industria láctea en general, generando cuantiosas pérdidas económicas, disminución de la calidad de los productos terminados como leche en polvo, queso, mantequilla y manjar principalmente, además de presentar peligros en el consumo de estos productos (Mabrook y Petty, 2003; Das et al., 2011).

La industria láctea con frecuencia se enfrenta a la adulteración con harina, que está presente en todo, desde la leche fresca a sus derivados. Esta adulteración permite revelar ciertos hechos, como la capacidad de coincidir la composición proximal del producto adulterado con la harina en leche fresca, restableciendo así ciertos parámetros físicos y químicos y ocultando la incorporación del agua (Calderón et al., 2013) o la adición de leche en polvo (Karthek et al., 2011).

El azúcar de caña (sacarosa) es otro adulterante de la leche que se utiliza para aumentar su contenido y peso de carbohidratos. Esto permite que se agregue agua adicional a la leche sin ser detectada por una prueba estándar de lactómetro para determinar la calidad de la leche (Robertson, 2014).

La espectroscopia de espectroscopía transformada de Fourier de infrarrojo cercano (FT-NIR) es una técnica analítica rápida y superior que permite la identificación de adulterantes introducidos en la leche, ya sea intencionalmente o involuntariamente.

Ante la pregunta, ¿Podrá detectarse la adulteración en la leche “mediante la aplicación de espectroscopia de infrarrojo cercano por transformada de Fourier” (FTIR-NIR)? Se planteó la hipótesis en el presente trabajo de que, la Espectrometría de infrarrojo cercano (NIR), técnica sencilla y amigable con el medio ambiente, permitirá determinar de manera confiable las adulteraciones de leche de vaca en la región San Martín.

Formulándose el objetivo general de Contribuir con la aplicación de una técnica amigable con el medio ambiente que ayude a detectar adulteraciones en leche en la región San Martín, los objetivos específicos fueron:

- Identificar y discriminar muestras de leches de vaca adulteradas con diferentes porcentajes de agua ultra pura (0,25% a 50%), harina de soya (0,25% a 20%), leche en polvo (0,25% a 20%), en presencia de muestras auténticas, empleando el método de espectroscopia NIR.
- Desarrollar un modelo de predicción de adulteración a diferentes porcentajes de agua ultra pura, harina de soya, leche en polvo, frente a muestras genuinas.
- Determinar la autenticidad de las muestras de leche procedentes de 03 localidades del Altomayo (Soritor, Calzada y Rioja).

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Sánchez (2015), "Evaluó la eficacia de las técnicas espectroscópicas visibles y cercanas al infrarrojo para detectar el agua añadida en la leche". La composición de las muestras de leche de varias marcas se evaluó en términos de su materia seca, proteínas, lípidos, lactosa, cloruros y cenizas. Entre el 0,25% y el 50% de las muestras fueron adulteradas con agua ultra-pura Milli-Q, se determinaron la constante molecular simplificada, la materia seca sin grasa, la densidad y el punto de congelación. Con la ayuda de estos parámetros, se detectaron adulteraciones de menos del 10%. El contenido de grasa, densidad y contenido de lactosa fueron los parámetros más precisos. Mediante el uso de modelos estadísticos, los espectros visibles y cercanos al infrarrojo se vincularon a estos cuatro parámetros. El análisis multivariado se utilizó para desarrollar estos modelos, que produjeron fuertes correlaciones con valores de R^2 entre 0,85 y 0,93.

Hsieh et al. (2011), indican que la leche cruda de vaca tiene un mercado de suministro escaso en verano y un suministro excesivo en invierno, lo que hace que los consumidores e industrias lácteas se preocupen por la calidad de la leche cruda si se adultera con leche reconstituida (leche en polvo). Este estudio preparó 307 muestras de leche cruda de vaca con diferentes proporciones de adulteración 0%, 2%, 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 75% y 100% de leche en polvo. Se aplicó una herramienta estadística para análisis multivariado conocida como máquina de vectores de soporte de mínimos cuadrados (LS-SVM) para calibrar el modelo de predicción para la relación de adulteración. El método de búsqueda en cuadrícula se utilizó para encontrar el mejor valor de los parámetros de red de γ y σ . Los resultados muestran que el R^2 varía de 0,9662 a 0,9777 para probar los datos establecidos con la superficie de la placa. El diagrama de dispersión de los datos de las pruebas mostró que la relación de adulteración por encima del 10% difiere claramente del 0% de las muestras.

Melfsen et al. (2012), mencionan que el conocimiento de los cambios diarios en la composición de la leche puede ayudar a controlar la salud de las vacas lecheras y puede ayudar a detectar desequilibrios nutricionales. Una herramienta analítica que ofrezca la posibilidad de analizar la leche durante la rutina diaria de ordeño proporcionaría dicha información. La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) puede analizar múltiples componentes en un sustrato dado al mismo tiempo.

En este estudio, se diseñó un dispositivo especial de análisis de leche en línea NIR, y se evaluó su capacidad para predecir los contenidos de grasa, proteína, lactosa y el recuento de células somáticas en la leche durante el proceso de ordeño. Los espectros NIR se adquirieron con un espectrómetro de diodo en reflexión difusa en el rango de longitud de onda de 851 a 1649 nm. Los espectros se originaron a partir de un total de 785 ordeños parciales de 84 ordeños compuestos. Las submuestras correspondientes de los ordeños compuestos se utilizaron para el análisis de referencia ($n = 785$). Se obtuvieron excelentes resultados de validación con respecto a los coeficientes de determinación ($R^2 = 0,99; 0,98$ y $0,92$) y errores estándar de predicción ($0,09; 0,05$ y $0,06$) para grasa (%), proteína (%) y lactosa (%), respectivamente. Se lograron resultados satisfactorios para el contenido de urea (mg / L) y SCC (Somatic Cell Count – Recuento de Células Somáticas) transformando logarítmicamente en la leche, con R^2 de $0,82$ y $0,85$ y errores estándar de predicción de $19,3$ y $0,18$; respectivamente. La precisión de la predicción de los contenidos de proteínas, lactosa y urea se realizó de acuerdo con las recomendaciones internacionales de reproducibilidad especificadas para dispositivos analíticos en línea.

Santos et al. (2013), desarrollaron un método simple y rápido para la detección y cuantificación de la adulteración de la leche utilizando espectrómetros portátiles e infrarrojos de mano (IR). Las muestras de leche se compraron en supermercados locales (Columbus, OH, EE. UU.), se adulteraron con agua del grifo, suero de leche, peróxido de hidrógeno, orina sintética, urea y leche sintética en diferentes concentraciones. Los datos espectrales se recolectaron utilizando espectrómetros de infrarrojo medio (MIR) e infrarrojo cercano (NIR). Los modelos exhibieron agrupaciones estrechas y bien separadas, lo que permite la discriminación del control de las muestras de leche adulterada. Se utilizó la regresión parcial de mínimos cuadrados (PLSR) para estimar los niveles de adulteración, y los resultados mostraron altos coeficientes de determinación (R^2) y bajos errores de predicción estándar (SEP). Los modelos de clasificación y cuantificación indicaron que los sistemas MIR probados eran superiores a los sistemas NIR en el monitoreo de la adulteración de la leche. Este método se puede utilizar potencialmente como una alternativa a los métodos tradicionales debido a su simplicidad, sensibilidad, bajo costo de energía y portabilidad.

Robertson y Shelton (2014), han demostrado que el “screen de adulterantes” es un método eficaz para detectar la adulteración de la leche. Es posible que se requiera la normalización de los espectros adulterantes para algunas muestras debido a los cambios espectrales que ocurren en la solución. Sin embargo, NIR con “screen de adulterantes” es una técnica rápida y simple de usar para la detección de adulterantes.

Se pueden agregar fácilmente adulterantes adicionales al método simplemente midiendo el espectro del adulterante puro; proporcionando así una plataforma dinámica para la detección de adulterantes.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. La espectroscopia infrarroja cercana o espectroscopia NIR.

El término “espectroscopia” procede de la combinación de una palabra latina “spectrum” que significa apariencia e imagen y griega “skopia” que indica ver. Este concepto describe la medida propia de la espectroscopia; es decir transmitir un débil retrato, Considere, por ejemplo, la imagen de iluminación original de una muestra. En resumen, la metodología NIR implica la interacción de la luz con un material, resultando en la emisión de radiación electromagnética en forma de ondas. La distancia entre los dos picos o puntos más altos se denota por el símbolo λ , que representa la longitud de onda. Normalmente las mediciones de la longitud de onda son en nanómetro (nm) donde $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ó $1000\text{ nm} = 0,001\text{ mm}$. El ojo humano se visibiliza en el rango de 400 nm a 800 nm, sin embargo, el espectro infrarrojo se amplía cerca de 2500nm a 25000nm. El NIR infrarrojo cercano está estimado en el espectro situada entre la región visible y la región infrarroja. La escala de longitud de onda que el NIR abarca, se encuentra entre 750nm a 2600nm (Miller, 2001).

Al emplear este método, se puede medir con precisión la interacción entre la materia y un rayo de luz incidente, ya que implica la absorción de los fotones restantes y su reflexión. (absorbancia, reflectancia). La cantidad de luz que es absorbida o reflejada por una muestra es proporcional al número o concentración de moléculas absorbentes presentes en esa longitud de onda (Blanco y Villarroya, 2002).

2.2.2. Fundamentos de la técnica NIRS

Es una metodología espectroscópica de varios medios de aplicación en diferentes rubros para una investigación aplicada, más que todo en las pruebas químicas en alimentos. Además, admite verificar cálculos cuantitativos teniendo en cuenta que las muestras en su composición no sean preferentemente separados, por ende, “esta metodología permite verificar otras mediciones con resultados en corto tiempo, que destaca largamente el tiempo que se emplea en los análisis tradicionales, con un considerable ahorro de personal” (Manrique et al., 1996).

Por su parte, Garrido *et al.* (1998), explica que “el NIRS es un método capaz de examinar e investigar una muestra a nivel molecular”. La base de este método es la utilización de curvas o espectros característicos de los materiales analizados que exhiben picos a

longitudes de onda correspondientes a bandas de absorción procedentes de los diversos componentes orgánicos presentes en las muestras.

En pocas palabras, este enfoque se basa en la observación de que una parte de los fotones pasan a través de la muestra cuando la luz la golpea, mientras que el resto son absorbidos. La vibración de enlaces C-H, O-H y N-H, que son componentes fundamentales de la estructura orgánica, es inducida por la absorción de energía por la muestra (Givens y Deaville, 1999; citados por Cozzolino et al., 2003). Según Osborne et al. (1993), “la exposición acumulativa a la radiación en una muestra dada se determina agregando la radiación que se absorbe (PA), se transmite (PT) y se refleja (PR). $PA + PT + PR = P_0$ ”. En la transmisión, se emplea un control blanco o un disolvente para eliminar el componente de reflejo; este solvente también se utiliza para cuantificar P_0 . Al eliminar el PT durante la reflexión, la luz se absorbe o se refleja sin atravesar la muestra; “en este proceso, se utiliza una cerámica de referencia blanca en lugar del solvente blanco. Una porción de la luz que es absorbida se somete a una reflexión difusa y luego se reemite contiene información relacionada con la composición” (Murray, 2004).

Debido al hecho de que las moléculas absorben a diferentes longitudes de onda, el análisis cuantitativo es factible; este patrón de absorción establece una correlación entre la composición química de la muestra y la concentración de un constituyente específico. “Cuando se utiliza la radiación infrarroja cercana para adquirir el espectro de un material dado, la energía (luz) es absorbida por moléculas orgánicas específicas que contienen una abundancia de uniones C-H, N-H y O-H” como ha indicado Apel (1996). Al igual que la espectroscopia visible y ultravioleta, el análisis cuantitativo de la espectroscopia NIR se basa en la ley de Beer-Lambert (Larrahondo et al., 2001). “Esta ley establece que la concentración de enlaces moleculares es proporcional a $\log 1/T$. Además, se puede aplicar la ecuación de reflexión difusa, denotada por $A = \log 1/R$ ” (Shenk y Westerhaus, 1994). En esta ecuación, la intensidad de la luz reflejada por la muestra se calcula en relación con la luz reflectada (Larrahondo et al., 2001).

2.2.3. Espectroscopia en el Infrarrojo Cercano

La utilización de la metodología NIRS para el análisis tanto cuantitativo como cualitativo de los alimentos se remonta a la década de 1960. Se han realizado diversos estudios para cuantificar la concentración de diferentes componentes en los productos alimenticios. Por ejemplo, Kays *et al.* (2000) investigó el contenido de proteínas de los productos alimenticios de cereales, incluidos el trigo, el maíz y la harina de avena. Roggo *et al.* (2002) determinaron el contenido de azúcar de las remolachas. Cozzolino

et al. (2003) predijeron la composición química del ensilaje de maíz. Por último, Cozzolino y Murray (2004) utilizaron NIRS para identificar y autenticar carnes (músculos) de vacuno, cordero, cerdo y pollo, concluyendo que este método puede ser utilizado ya que es una herramienta útil para identificar carne de diferentes especies. La radiación NIR (Near-InfraRed) se clasifica dentro del espectro electromagnético, que abarca de 780 a 2500 nanómetros. Está situado intermedio entre la radiación UV-Vis y MIR (Middle Infrared). (Figura 1)

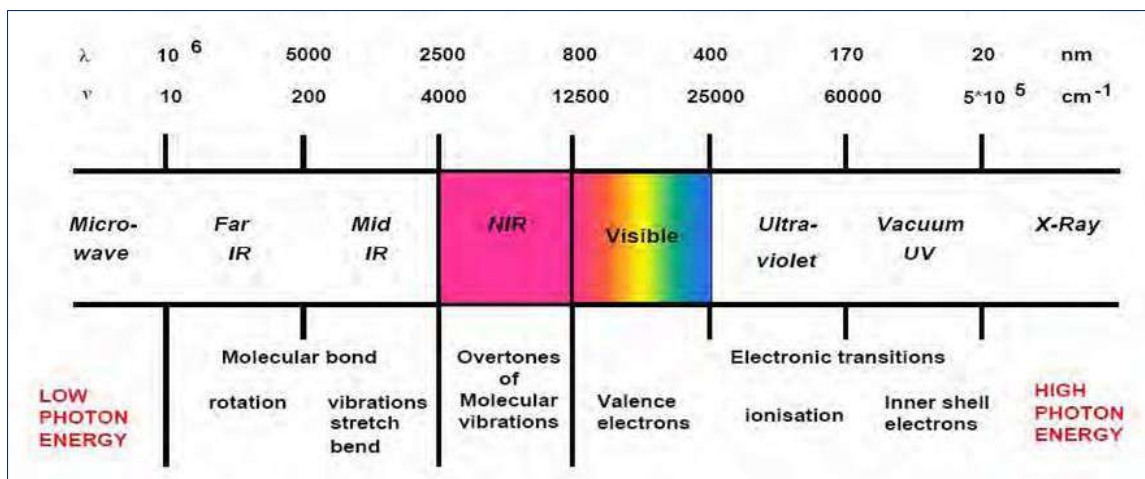


Figura 1
Espectro electromagnético
Fuente: Murray, (2004)

Entre 780 y 10⁶ nanómetros (Figura 1), la región infrarroja del espectro electromagnético se subdivide en tres regiones: Far Infrared (FIR) representa el infrarrojo lejano, MIR (Middle Infrarrojo) denota el infrarrojo medio, y Near Infrarrojo (NIR) es el infrarrojo cercano. La absorción observada en cada una de estas tres regiones se puede atribuir a distintos tipos de interacciones luz-materia (Tabla 1).

Tabla 1
Regiones del espectro electromagnético entre 780 y 10⁶ nm.

Región	Intervalo de absorción (nm)	Origen de la absorción
FIR	4*10 ⁴ - 10 ⁶	Rotaciones moleculares
MIR	2500 - 4000	Vibraciones moleculares fundamentales
NIR	780 - 2500	Sobre tonos y bandas de combinación de vibraciones moleculares

Fuente: Murray, (2004)

Los principales compuestos absorbentes en el NIR y su correspondiente región espectral se muestran en la Figura 2.

Debido a los numerosos modos de vibración de los compuestos orgánicos, el espectro NIR es complejo. Una característica adicional de la región cercana al infrarrojo es que las interacciones moleculares, incluidos los puentes de hidrógeno, modifican las posiciones de las bandas y, por lo tanto, influyen en el espectro NIR. Además, en la región cercana al infrarrojo, las propiedades físicas de la muestra, incluyendo la temperatura, el tamaño de las partículas y la estructura cristalina, ejercen una influencia.

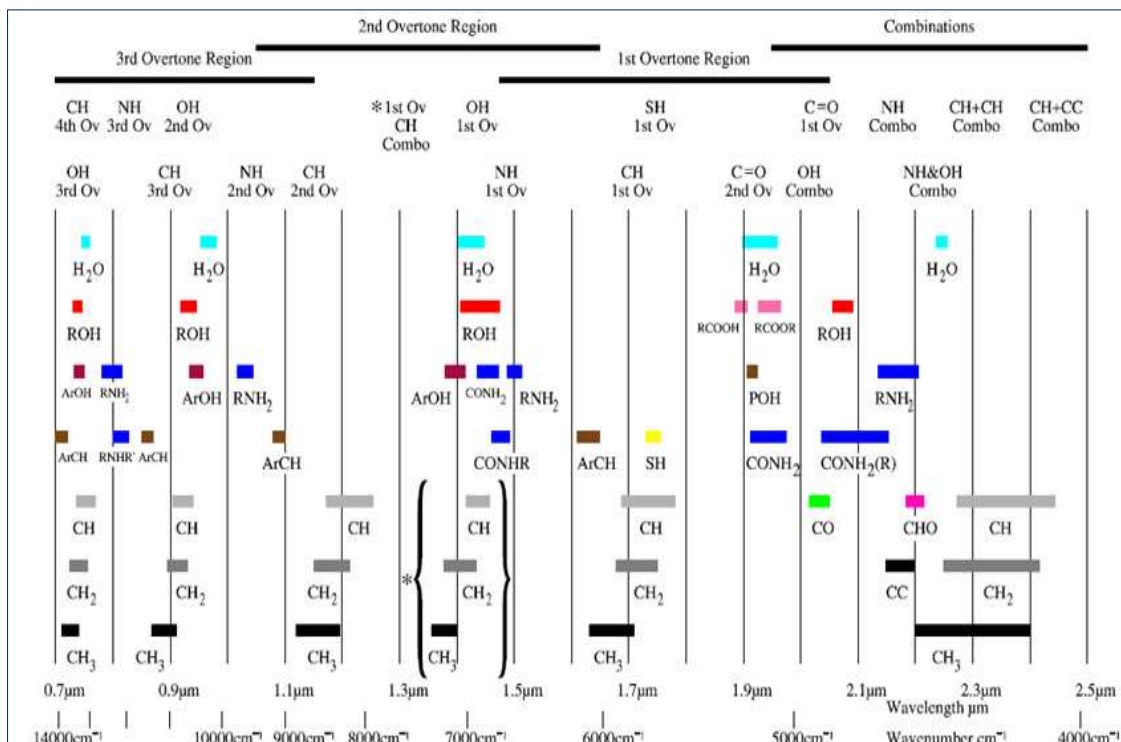


Figura 2

Bandas de absorción en la región NIR

Fuente: Murray, (2004)

2.2.4. Aplicaciones de la técnica NIRS

Los análisis de cereales, cerveza, leche, carne y productos derivados, alimentos y productos de confitería se encuentran entre las aplicaciones de este método que se han investigado (Alomaar y Fuchslocher, 1998; Permanyer y Pérez, 1989). Esta técnica se ha aplicado con mayor frecuencia a la determinación de proteínas, humedad, carbohidratos, aceites, lípidos y celulosa (Skoog *et al.*, 2001), además de los productos antes mencionados y también en campos de la geología, petroquímica, farmacéutica, medicina, textiles y otros. La técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) ofrece varias ventajas, incluyendo no destructiva, análisis rápido, alta precisión, preparación de muestras mínima o ninguna, rentabilidad y la capacidad de determinar simultáneamente múltiples componentes (Alomar y Fuchslocher, 1998; Batten, 1998; Kurowski *et al.*, 1998; Ruiz, 2001). "La principal desventaja de utilizar el NIRS para el

análisis de alimentos es su dependencia de las técnicas de análisis químico, la mayoría de las cuales se establecieron en el siglo XIX”, como señalaron Osborne *et al.* (1993).

2.2.5. La Leche

Desde un punto de vista dietético, la leche es el alimento más inadulterado e ideal. La proteína primaria de esta sustancia, conocida como caseína, comprende aminoácidos vitales y sirve como una fuente sustancial de calcio, fósforo, riboflavina (vitamina B12), y un contribuyente sustantivo a las necesidades diarias de vitamina A y B1. Además, los lípidos y la lactosa sirven como fuentes importantes de energía. Como declaró (Paseiro en 1980).

A nivel químico, la leche es uno de los fluidos más completos que existen. Se utiliza ampliamente para referirse a todos los componentes además del agua, el término "sólidos totales" también se traduce como "sólidos no grasos" cuando se omiten la grasa y el agua. En términos de composición, el agua comprende entre el 82% y el 82,5% de la leche, los sólidos totales oscilan entre el 12% y el 13% en promedio, y los sólidos no grasos se encuentran casi siempre cerca del 9% (Paseiro, 1980).

Como sugiere su definición física, “la leche es un líquido opalescente blanco. El color observado en la sustancia se puede atribuir a la refracción de los rayos de luz que la golpean al chocar con las partículas coloidales en suspensión” (Paseiro, 1980).

2.2.6. Composición de la leche

Según Revilla (2000), “la leche es un alimento esencial para el ser humano, y su valor nutricional se determina por la cantidad y variedad de nutrientes que contiene”. Un entendimiento amplio de cada componente de la industria láctea es imperativo para la formulación de nuevos productos que aseguren y mantengan la integridad nutricional. Además, la leche exhibe variación en su composición debido a los siguientes factores: especie, raza, cosecha, tiempo de cosechado, cuartos de ubre, período de lactancia, estado nutricional, composición de alimentos, estaciones del año, temperaturas ambientales, edad, salud de la ubre, enfermedades generales, condición de la vaca en el momento del parto, cambio del sistema de cosechas, régimen de ejercicio, hormonas, medicamentos, selección genética, período seco de vacío, y las condiciones de iluminación.

Tabla 2
Composición porcentual de la leche

Componente	Rango (%)	Promedio
Agua	79 – 90,5	87
Lactosa	3,5 – 6,0	4,9
Grasa	2,2 – 8,0	3,9
Proteína	2,7 – 4,8	3,5
Minerales	0,65 – 0,9	0,8

Fuente: Revilla, 2000

En 2013, Defaz y Pérez terminaron los parámetros físico químicos de leche cruda, haciendo uso de un equipo analizador ultrasónico, en su tesis de pre grado titulado “Determinación de la calidad físico-química y microbiológica de la leche cruda de los centros de acopio de las 10 asociaciones del CONLAC-T” en Ecuador.

2.2.7. Adulteración de la leche

“La industria láctea se enfrenta a un desafío mundial en forma de leche adulterada, que amenaza la seguridad del consumidor, deteriora la calidad de los productos finales y causa pérdidas económicas” Mabrook y Petty (2003) y Das et al. (2011). Unas variedades de adulterantes se utilizan para lograr ventajas distintivas. El agua láctea, la combinación de leche de diversas especies, y la introducción de compuestos nitrogenados (urea o melanina), lípidos animales o vegetales, son todos ejemplos de adulteración. Uno de los métodos más básicos de adulterar la leche es mediante el aumento de su volumen con agua. Según *Das et al.* (2011), se cometería un engaño económico intentando vender un producto que tenga un valor nutricional disminuido.

La determinación de la constante molecular simplificada, la determinación del extracto seco desengrasado, el establecimiento del punto de congelación, y la determinación de la densidad de la leche son algunos de los parámetros que permiten la detección del agua de leche. Hay una serie de desventajas asociadas a estas determinaciones, incluyendo su alto costo económico, el largo tiempo de ejecución y la posible destrucción de la muestra que se está analizando. Por lo tanto, se requieren sistemas rápidos, fiables y no destructivos para detectar esta forma de fraude.

Los consumidores tienen derecho a esperar que la leche que compran sea libre de adulterantes y no se adultere. Como resultado, la industria láctea está obligada a implementar sistemas de control de calidad suficientes.

“La leche puede verse comprometida involuntariamente o intencionalmente (afortunadamente, algo extraño) durante el procesamiento o la producción” (Harding,

1995). Los posibles adulterantes incluyen sustancias extrañas, detergentes o esterilizantes que ingresan inadvertidamente en la leche durante la producción, ungüentos de ubre, degustación de tetas en los mamíferos, neutralizantes empleados para ocultar la acidez desarrollada, polvo seco de leche utilizado para aumentar los sólidos de la leche, sal o azúcar empleado para obstruir el agua extraña o para aumentar el total de sólidos, y conservantes como la formalina, el peróxido de hidrógeno, el hipoclorito, que se utilizan para ocultar la calidad no higiénica.

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Contexto de la investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional de San Martín, Ciudad Universitaria, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, en el laboratorio de Investigación, distrito de Morales, en la provincia de San Martín.

3.1.2. Periodo de ejecución

La ejecución de la parte experimental del proyecto de investigación tuvo una duración de cinco meses entre junio y octubre de 2022.

3.1.3. Materia Prima

Las muestras procedieron de tres (03) localidades del Alto Mayo: Soritor, Calzada y Rioja. La muestra lo conformaron 3 muestras de Leche cruda, 14 concentraciones de muestras adulteradas con agua ultra pura, 11 muestras de leche de vaca adulterada con harina de soya y 11 muestras de leche de vaca adulteradas con leche en polvo. La unidad experimental fue de 20 mL por cada muestra del total de zonas identificadas del Alto Mayo.

3.2. Diseño Experimental

Los espectros de las muestras de leche se evaluaron en un espectrómetro NIR Perkin Elmer modelo Frontier en transflectancia utilizando el accesorio de muestreo NIRA II. Los conjuntos de muestras se seleccionaron para cubrir la adulteración dentro de una amplia gama de diferentes tipos de leche.

Las muestras se sometieron a un análisis exploratorio de los datos utilizando el Principal Component Analysis (PCA) en un esfuerzo por reducir el número de variables bajo investigación y obtener la longitud de onda más aplicable al estudio; luego se realizaron regresiones y correlaciones en preparación para la clasificación final.

Los datos experimentales fueron reprocesados utilizando el Software Spectrum Quant, de acuerdo a lo descrito por Montalvo (2022), basándonos en la longitud de la ruta, corrección de la línea de base, tipo derivada de primer orden y con una reducción de ruido de 2 puntos, todo ello sin procesamiento de datos, que en conjunto permitió tomar

como algoritmo un PLS1, las escalas tomadas para los datos estadísticos fueron los datos promediados con una cantidad de variables latentes de 10.

3.3. Materiales y Equipos

3.3.1. Materiales

a) De campo

Las muestras de leche fueron transportadas en frascos de vidrio, colocadas en un cooler con hielo seco, a una temperatura aproximada de 10°C manteniéndolas en óptimas condiciones para su análisis en el laboratorio de investigación.

3.3.2. Equipos e instrumentos

Espectrómetro NIR – FTIR, marca Perkin Elmer, modelo Frontier, procedencia USA, de 4000 a 10000 cm^{-1} . Balanza analítica, marca AND GH – 200, capacidad de 220 g., procedencia Japón. Analizador ultrasónico de leche BOECO LAC-S-50, procedencia Alemania. Estufa, marca Memmert ED080, de 30 a 150°C, procedencia USA.

3.3.3. De Laboratorio

Placas Petri de poliestireno de 60 mm x 15 mm

Papel toalla

Vasos de precipitados de 25, 50, 100, 250 mL

Guantes de látex

Fiolas

Pipetas de 5 ml

3.4. Metodología experimental

a. Identificación y discriminación

Se utilizó la metodología descrita por Sanchez *et al.*, (2015) y Lang *et al.*, (2015) quienes indican que las muestras de leche tienen que ser vertidas en una placa de petri de poliestireno de 60 mm x 15 mm, y luego ser colocadas en la parte superior del accesorio de Reflectancia NIRA II. Para la construcción de los modelos se utilizó el promedio de los espectros de absorbancia por triplicado. Los espectros de absorbancia se registraron a un rango de 4000 a 10000 cm^{-1} de longitud de onda. Los datos espectrales de NIR se recolectaron en un tiempo de exploración de 30 segundos y a temperatura ambiente de $21 \pm 1^\circ\text{C}$; se calibró el equipo antes del inicio de la corrida para la corrección de línea base a una resolución de 210 y mediante la integración de 64 escaneos.

Para contar con muestras representativas y diferentes fuentes de variabilidad de las muestras estudiadas, se adquirieron de diferentes lotes (ganaderos) durante el mes de junio de 2022, distribuidos entre las localidades de Soritor, Calzada y Rioja, pertenecientes al ecosistema del Alto Mayo. Las muestras obtenidas todas ellas fueron de ganado Gyr lechero de diferentes edades y de una crianza intensiva. Se midieron los espectros de las siguientes muestras puras y adulteradas, así como se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Adulteración de leche pura de vaca procedente de 03 localidades del Alto Mayo (%)

Agua Ultra	0,25	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40	50
Pura	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	0,25	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20			
Harina de soya	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			
Leche en	0,25	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20			
polvo	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			

b. Desarrollo de un modelo de predicción

La adulteración de la leche se realizó, teniendo como base 100 mL de leche cruda, se procedió a pesar en balanza analítica, marca AND GH – 200 los porcentajes arriba mencionados para cada adulterante, posterior a ello se agitó manualmente hasta homogenizar uniformemente, luego se vertió 5 mL en la placa petri para ser analizadas en el espectrómetro NIR – FTIR, marca Perkin Elmer, modelo Frontier. Cada porcentaje de adulteración se analizó por triplicado para obtener un dato promedio, es decir por cada zona de origen se procesó un total de 108 muestras, teniendo un universo de 324 datos obtenidos del total de las muestras adulteradas. Los análisis físico químicos se desarrollaron utilizando el equipo Analizador de leche BOECO LAC-S-50, modelo estándar, equipo que nos permite realizar análisis rápidos de las muestras de leche directamente después del ordeño, durante la recolección y durante el procesamiento. En esta oportunidad fue usado un volumen de 100 mL para hacer la lectura de las muestras genuinas de leche, los análisis se realizaron por triplicado para cada zona de origen (9 datos obtenidos para cada parámetro medido). Los parámetros medidos fueron: Porcentaje de grasa, sólidos no grasos, densidad, proteína, lactosa, contenido de agua, pH y sólidos totales, según lo indicado por Defaz y Pérez (2013).

c. Determinación de la autenticidad de las muestras

Para determinar la autenticidad de las muestras, los datos obtenidos fueron reprocesados utilizando el Software Spectrum Quant, de acuerdo a lo descrito en el diseño experimental por Montalvo (2022), en base a la longitud de la ruta, corrección de

la línea de base, tipo derivada de primer orden y con una reducción de ruido de 2 puntos, todo ello sin procesamiento de datos, que en conjunto permitió tomar como algoritmo un PLS1. Las escalas tomadas para los datos estadísticos fueron los datos promediados con una cantidad de variables latentes de 10. Se preparó muestra de validación, para probar los métodos se utilizó el Espectrómetro NIR-FTIR marca Perkin Elmer, con el software Spectrum Quant.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación y discriminación de muestras de leches de vaca adulteradas con diferentes porcentajes de contaminantes.

En la figura 3, se muestra un espectro de una leche natural sin adulteración reportando una combinación simétrica del agua a valores alrededor de 7112 y 6285 cm^{-1} , sin embargo, este valor es comparado al agua pura, que contiene la leche evaluada en esta investigación (ver Tabla 4), podríamos indicar que la mezcla de agua y lactosa en la leche está comprendida en el rango de 6550 y 7345 cm^{-1} . Jerry (2016) indica que en el agua hay una combinación de estiramiento y flexión simétrica de las moléculas cerca de 5150 cm^{-1} , sin embargo, existen combinaciones anchas y débiles próximas a 5620 cm^{-1} , también indica que el agua en leche fría se encuentra alrededor de 7470 y 6165 cm^{-1} , valores muy cercanos a lo reportado en esta investigación.

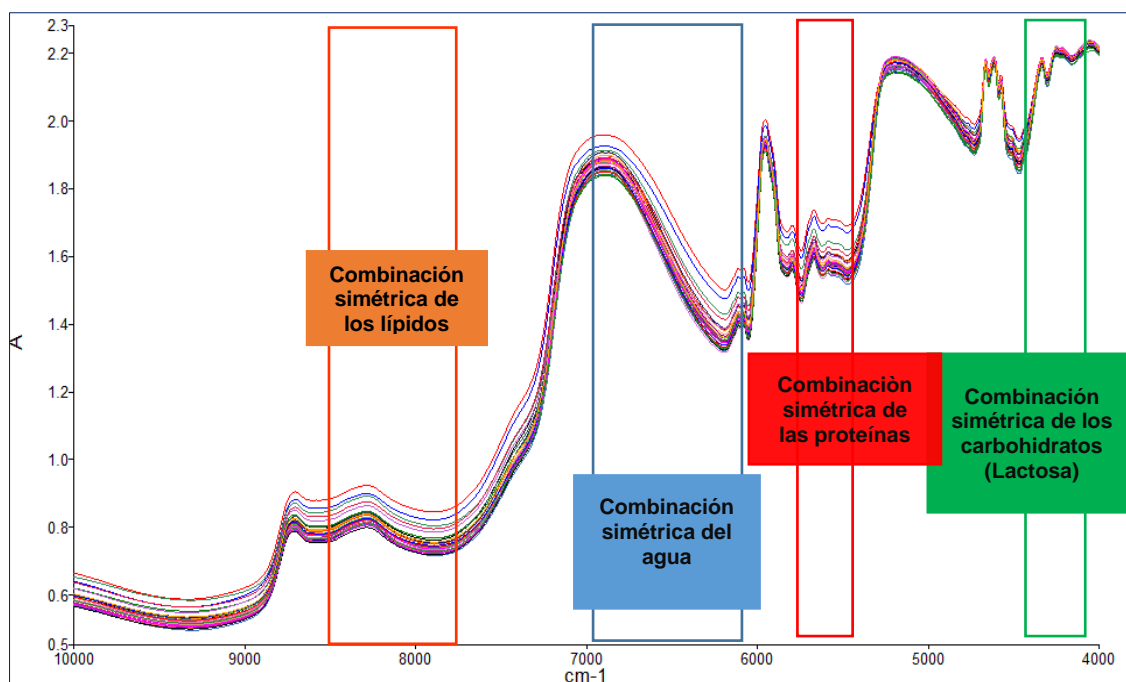


Figura 3
Combinación espectral de los componentes de la leche pura

Según Workman (2001), las calibraciones múltiples demuestran que la presencia de carbohidratos se encuentra entre los 4348 y 4237 cm^{-1} y la combinación de azúcares (Lactosa) entre los 4400 y 4320 cm^{-1} y están relacionados a las combinaciones vibratorias de los C-O mayoritariamente reportada por la lactosa. En el presente trabajo

se focaliza la presencia de este componente entre 4665 y 4574 cm^{-1} , puesto que la lactosa es el principal carbohidrato presente en la leche y está constituida por glucosa y galactosa (Fenema, 2000).

Mientras que las proteínas se encuentran ligadas a la presencia de las combinaciones vibracionales de los N-H, característica de los enlaces peptídicos y ellas se encuentran (Jerry, 2016), en 4587 cm^{-1} de longitud de onda.

Se puede observar al primer sobre tono de la vibración de estiramiento del OH del agua que actúa en la formación de una banda ancha presentándose en una longitud de onda de 6897 cm^{-1} (Pereira *et al.*, 2020), por lo contrario, las bandas pequeñas aparecen entre los 9091 y 8333 cm^{-1} corresponden al comportamiento del sobre tono y estiramiento de la presencia de la grasa C-H (Núñez-Sánchez *et al.*, 2016). Finalmente, las proteínas se encuentran alrededor de los 6135 cm^{-1} , presentando la primera combinación de estiramiento del grupo amino N-H sin presencia de amidas (Dupont, 2016).

Estas características se presentan por la variabilidad que existe entre la leche de las zonas muestreadas (Rioja, Calzada y Soritor) que puede deberse a la alimentación y el sistema de producción (extensivo y semiextensivo), sin embargo, la mínima variabilidad observada puede atribuirse a la cercanía de las localidades.

Tabla 4

Composición físico química de muestras de leche procedentes de tres localidades.

Parámetros de Medición	Rioja	Calzada	Soritor
Grasa (%)	3,8819±0,04	3,8765±0,004	3,8733±0,051
Sólidos no grasos (%)	7,6548±0,034	7,7668±0,013	8,2777±0,020
Densidad (Kg/m^3)	1028±1,000	1029±0,577	1026±1,387
Proteína (%)	3,059±0,041	3,060±0,043	3,035±0,010
Lactosa (%)	4,510±0,070	4,520±0,075	4,503±0,092
Contenido de agua (%)	87,858±0,037	87,998±0,054	88,150±0,020
pH	6,64±0,033	6,70±0,062	6,91±0,153
Sólidos totales (%)	12,14±0,037	12,00±0,054	11,850±0,020

¹Media y desviación estándar de tres repeticiones

En la tabla 4, se presenta la composición físico química de las muestras de leche auténticas. Se observa que las medias de los datos obtenidos son muy similares entre sí, a excepción del porcentaje de sólidos totales para la localidad de Soritor, lo que

impacta en los valores de la densidad. Este comportamiento puede atribuirse a diversos factores, como por ejemplo periodo de lactancia, estado nutricional del animal, calidad nutricional del régimen alimentario, T° ambiental, salud de la ubre, condición de la vaca en el momento del parto, régimen de ejercicio (Revilla 2000).

La localidad de Soritor presenta mayor porcentaje de sólidos no grasos, sin embargo, la grasa no presenta variabilidad entre las localidades, de manera contraria a lo mencionado por Sutton (2000) quien indica que, debido a los efectos genéticos, fisiológicos y nutricionales, la grasa es el componente más variable en la leche.

En la figura 4 y tabla 5, se observa el comportamiento combinatorio de las estructuras moleculares de los componentes presentes en las leches originales, se observa un comportamiento similar entre ellas con respecto a las absorbancias y longitudes de onda, estos resultados son propios de muestras que proceden de ganado de la misma raza y condiciones similares de alimentación y clima.

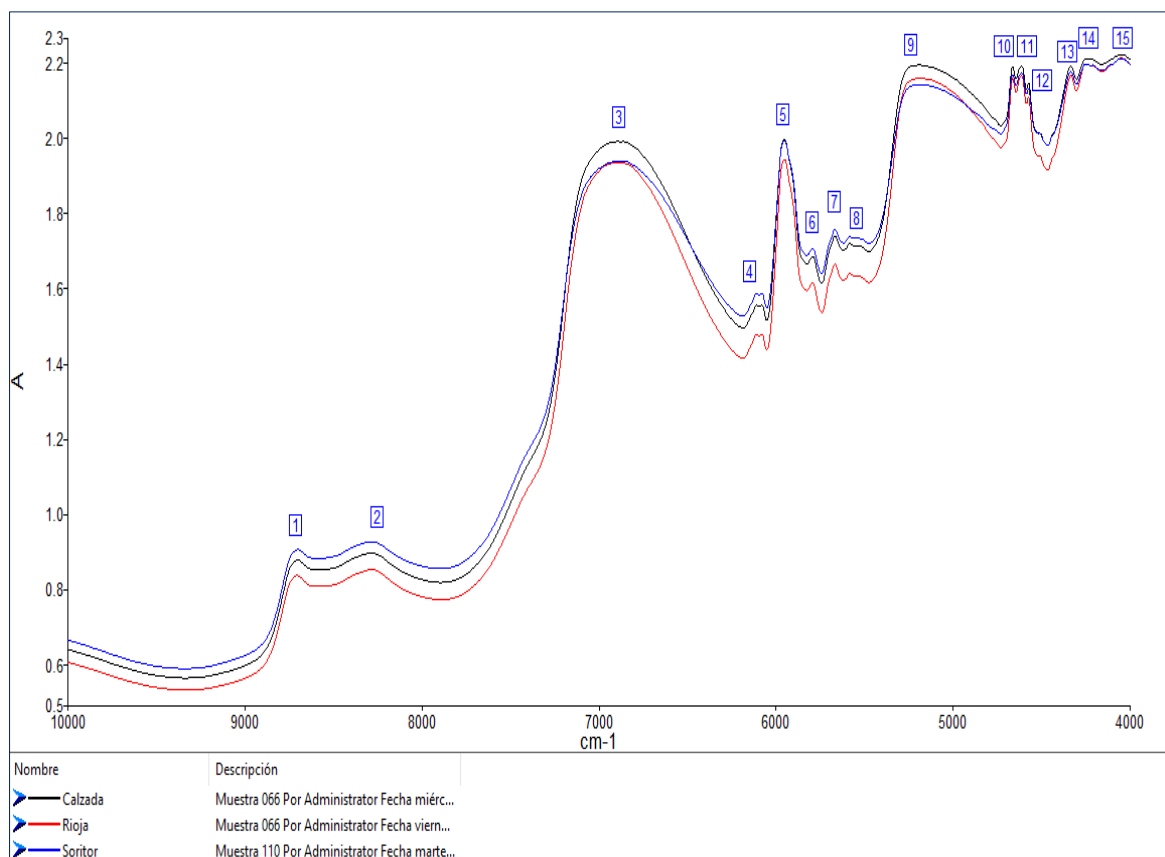


Figura 4

Superposición de muestras de leche original procedentes de las localidades de Calzada, Rioja y Soritor.

Tabla 5

Longitud de onda y absorbancia de muestras de leche según los picos obtenidos en diferentes localidades.

Nº pico	Calzada		Rioja		Soritor	
	Longitud de onda (cm ⁻¹)	Absorbancia (A)	Longitud de onda (cm ⁻¹)	Absorbancia (A)	Longitud de onda (cm ⁻¹)	Absorbancia (A)
1	8702,58	0,88	8703,04	0,84	8700,47	0,91
2	8287,45	0,90	8288,81	0,86	8284,18	0,93
3	6891,48	1,99	6894,08	1,94	6903,76	1,94
4	6111,50	1,56	6080,28	1,48	6080,07	1,59
5	5951,21	2,00	5951,60	1,95	5951,37	2,00
6	5793,26	1,69	5793,68	1,62	5793,66	1,71
7	5667,20	1,74	5667,51	1,67	5667,34	1,76
8	5584,13	1,72	5584,13	1,64	5584,12	1,74
9	5198,09	2,20	5168,97	2,16	5184,13	2,15
10	4664,09	2,19	4664,36	2,16	4663,94	2,17
11	4613,20	2,20	4613,22	2,17	4612,59	2,18
12	4573,68	2,15	4573,86	2,11	4573,52	2,14
13	4334,10	2,19	4333,83	2,17	4334,30	2,18
14	4248,39	2,22	4249,27	2,20	4251,73	2,20
15	4032,21	2,22	4051,87	2,22	4044,83	2,21

Tabla 6

Comportamiento de la leche según sus enlaces relacionados a su energía absorbida en el infrarrojo cercano.

Muestras	Longitud de onda (cm ⁻¹)	Absorbancia (A)	Grupo asociado	Tipo de vibraciones
Muestras de leche sin adulteración	8703,04	0,84	CH ₂	Segunda región de sobretono
	6894,08	1,94	CH	Segunda y primera región de sobretono
	5951,60	1,95	NH	Primera región de sobretono
	4664,38	2,16	CHO	Combinaciones de C=O y estiramiento CH
Muestras de leche adulterada al 0,25% de agua ultra pura	8701,14	0,86	CH ₂	Segunda región de sobretono
	6907,02	1,98	CH	Segundo y primera región de sobretono
	5951,43	1,98	NH	Primera región de sobretono
	4664,41	2,17	CHO	Combinaciones de C=O y estiramiento CH
Muestras de leche adulterada al 50% de agua ultra pura	8696,87	1,02	CH ₂	Segunda región de sobretono
	6892,83	2,09	CH	Segunda y primera región de sobretono, presencia radical O-H en altos porcentajes de agua
	5951,85	2,09	NH	Primera región de sobretono

Muestras	Longitud de onda (cm-1)	Absorbancia (A)	Grupo asociado	Tipo de vibraciones
Muestras de leche adulterada al 0,25% de harina de soya	4663,97	2,20	CHO	Combinaciones de C=O y estiramiento CH
	8703,27	0,83	CH2	Segunda región de sobretono
	6892,02	1,89	CH	Segunda y primera región de sobretono, presencia radical O-H bajos porcentajes de agua
	5951,66	1,94	NH	Primera región de sobretono
Muestras de leche adulterada al 20% de harina de soya	4663,87	2,17	CHO	Combinaciones de C=O y estiramiento CH, presencia de polisacáridos
	8705,46	0,81	CH2	Segunda región de sobretono
	6888,23	1,88	CH	Segunda y primera región de sobretono, presencia radical O-H presencia de sustancias poliméricas
	5950,80	1,93	NH	Primera región de sobretono, presencia de sustancias peptídicas CONH2
Muestras de leche adulterada al 0,25% de leche en polvo	4663,93	2,18	CHO	Combinaciones de C=O y estiramiento CH, presencia de altas concentraciones de polisacáridos
	8701,55	0,87	CH2	Segunda región de sobretono
	6888,94	1,98	CH	Segunda y primera región de sobretono
	5951,33	1,98	NH	Primera región de sobretono
Muestras de leche adulterada al 20% de leche en polvo	4573,62	2,14	CHO	Combinaciones de C=O y estiramiento CH
	8713,54	0,74	CH2	Segunda región de sobretono
	6887,76	1,71	CH	Segundo y primera región de sobretono, presencia radical O-H presencia de sustancias poliméricas
	5950,99	1,88	NH	Primera región de sobretono, presencia de sustancias peptídicas CONH2 en altas concentraciones
	4663,85	2,15	CHO	Combinaciones de C=O y estiramiento CH

La descripción en la tabla 6 se basó en la comparación obtenida de los valores de longitud de onda y absorbancia según la revisión literaria de Murray (2004). Se observa, que generalmente los espectros vibracionales de las muestras originales y adulteradas

están conformados por 04 componentes principales entre ellos los lípidos ubicados desde los $8710,61\text{ cm}^{-1}$; $0,74A$ y $8281,58\text{ cm}^{-1}$; $0,75A$, el agua en $6890,47\text{ cm}^{-1}$; $1,71A$, mientras que la proteína $5951,39\text{ cm}^{-1}$; $2,09A$, finalmente los carbohidratos se ubican en un rango de $4663,81\text{ cm}^{-1}$; $2,10A$ y $4612,97\text{ cm}^{-1}$; $2,17A$. Es importante precisar las combinaciones y sobre tonos intramoleculares de los enlaces pertenecientes a los componentes que contiene la leche entre ellas los enlaces peptídicos de las proteínas NH, las combinaciones de C=O y de estiramiento del CHO en los carbohidratos y el radical O-H del agua.

4.2. Modelo de predicción de adulteración a diferentes porcentajes de agua ultra pura, harina de soya, leche en polvo, frente a muestras genuinas

En las figuras 5, 6 y 7 se muestran los datos experimentales reprocesados obtenidos en los ensayos utilizando el software Spectrum Quant, el reprocesamiento se basó en la longitud de la ruta, corrección de la línea de base, tipo derivada de primer orden y con una reducción de ruido de 2 puntos, todo ello sin procesamiento de datos, lo cual permitió tomar como algoritmo un PLS1, las escalas tomadas para los datos estadísticos fueron los datos promediados con una cantidad de variables latentes de 10. Las muestras presentan diferencias espectrales a lo largo de las longitudes de onda y la absorbancia, sin embargo, los datos presentados en la figura 9 son más uniformes, es posible por la misma procedencia o naturaleza de los adulterantes (harina de soya).

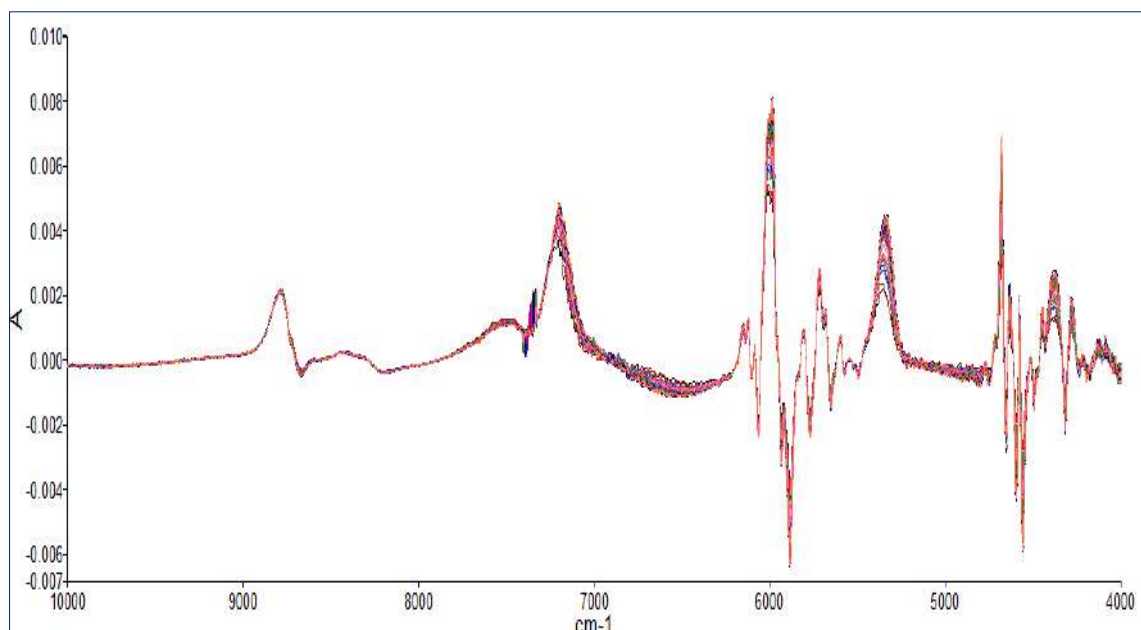


Figura 5

Resumen de datos experimentales obtenidos de leche adulterada con agua ultrapura.

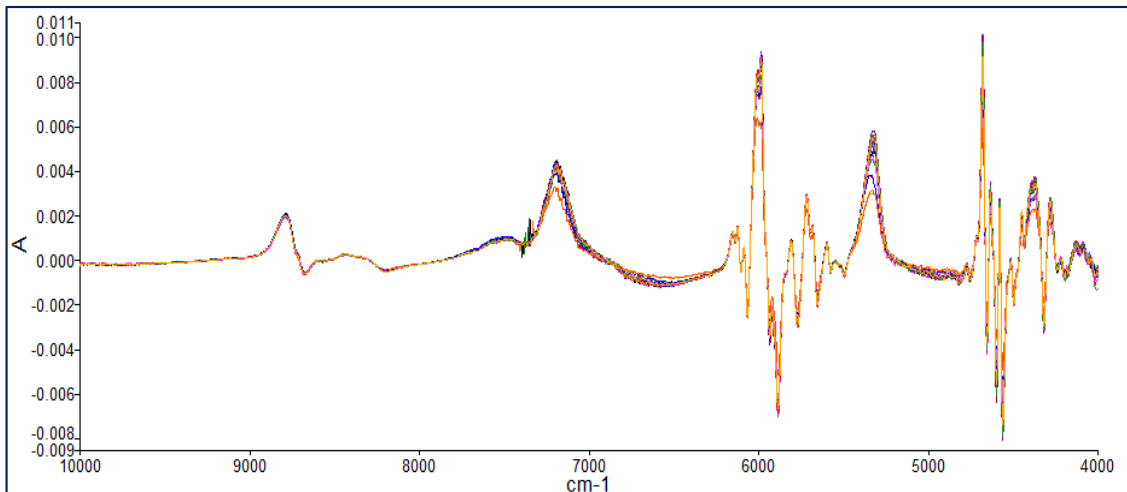


Figura 6
Resumen de datos experimentales obtenidos de leche adulterada con Harina de Soya

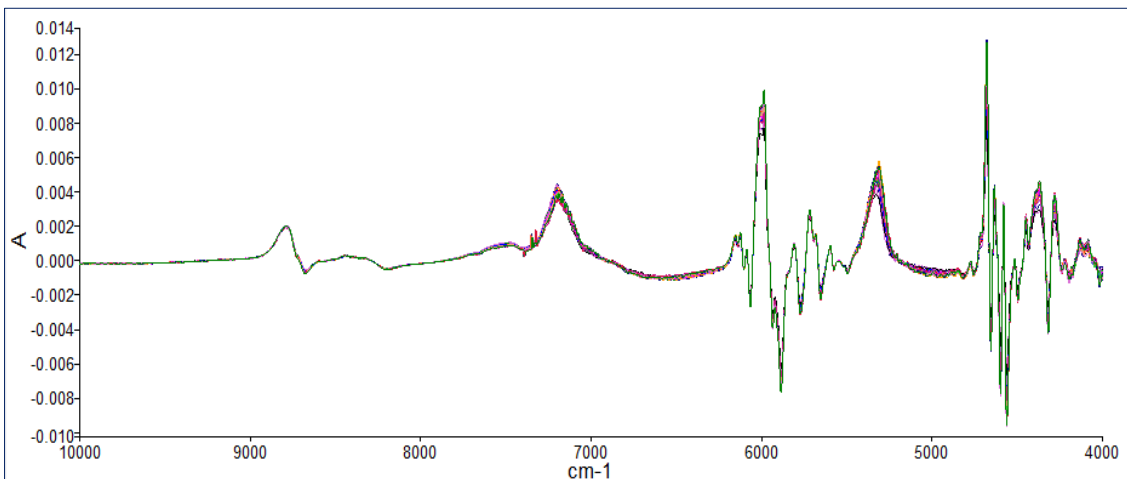


Figura 7
Resumen de datos experimentales obtenidos de leche adulterada con Leche en Polvo

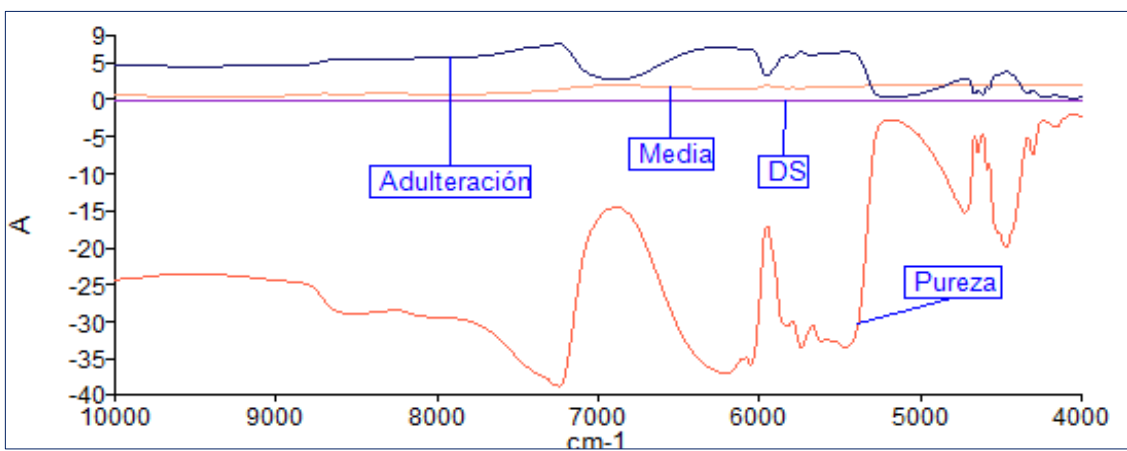


Figura 8
Comportamiento de muestras de leche adulteradas con agua ultra pura con respecto a la absorbancia y longitud de onda.

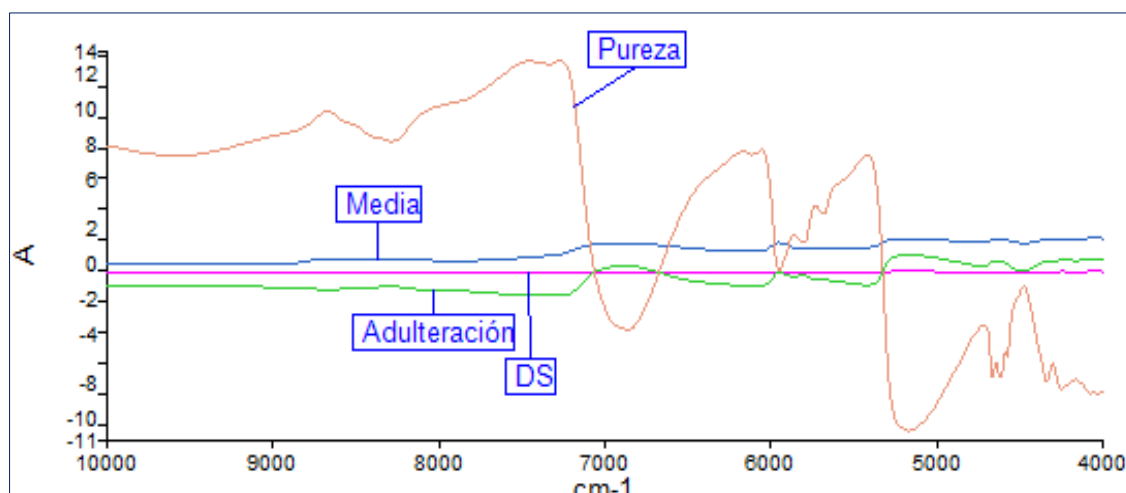


Figura 9
Comportamiento de muestras de leche adulteradas con harina de soja con respecto a la absorbancia y longitud de onda.

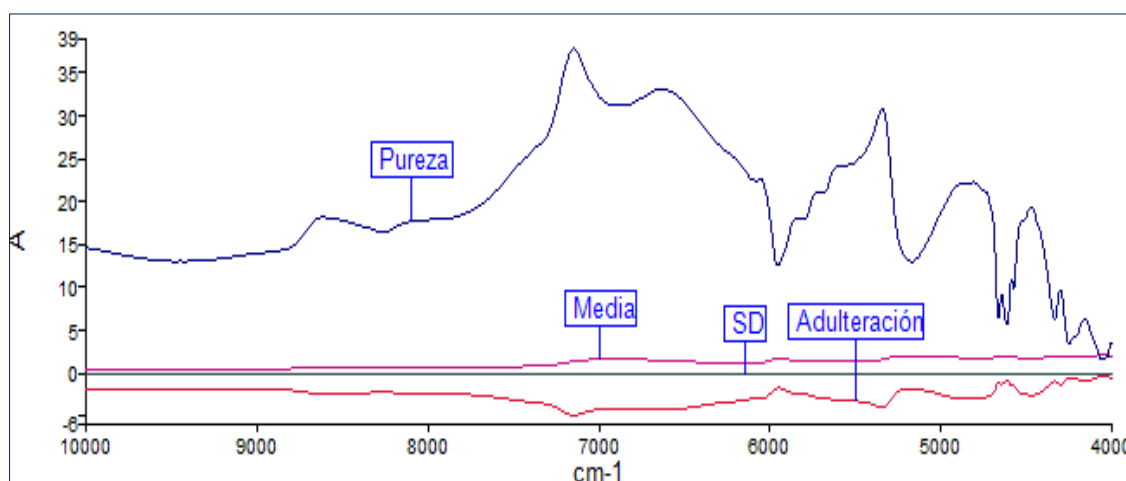


Figura 10
Comportamiento de muestras de leche adulteradas con Leche en polvo con respecto a la absorbancia y longitud de onda.

Por su comportamiento estructural y de sus componentes los espectros muestran diferencias entre las absorbancias durante la reprocesamiento de los datos, debido a la composición físico química de cada una de ellas. La leche adulterada con agua ultra pura (Figura 8) se encuentra en el rango de 5 a 9 de absorbancia (A), mientras que la harina de soja (Figura 9) se ubica entre 8 a 14 A y finalmente la leche en polvo (Figura 10) de 15 a 39 A; como se puede observar el primer sobretono de la vibración de estiramiento O-H del agua, que es causante de una franja amplia y prominente en la longitud de onda de 6897 cm^{-1} , por otro lado, las bandas pequeñas del segundo sobre tono del estiramiento son de la grasa -CH , que se encuentran alrededor de 8333 cm^{-1} (Dos Santos *et al.*, 2020).

Tabla 7*Reporte de calibración por el método cuantitativo de adulteración de harina de soya en leche*

Propiedad	Cantidad de PC	% Varianza (R cuadrado)	Estándar Error de cálculo (SEE)	Error estandar de predicción (SEP)	Valor promedio de la propiedad
Adulteración	10	99,9987	0,02797	0,0475	9,846
Pureza	10	99,9987	0,02797	0,0475	90,15

Tabla 8*Reporte de calibración por el método cuantitativo de adulteración de agua ultra pura en leche*

Propiedad	Cantidad de PC	% Varianza (R cuadrado)	Estándar Error de cálculo (SEE)	Error estandar de predicción (SEP)	Valor promedio de la propiedad
Adulteración	10	99,9997	0,02637	0,03018	16,54
Pureza	10	99,9997	0,02637	0,03018	83,46

Tabla 9*Reporte de calibración por el método cuantitativo de adulteración con leche en polvo en leche*

Propiedad	Cantidad de PC	% Varianza (R cuadrado)	Estándar Error de cálculo (SEE)	Error estandar de predicción (SEP)	Valor promedio de la propiedad
Adulteración	10	99,9971	0,03694	0,04142	11,13
Pureza	10	99,9971	0,03694	0,04142	88,88

En la tabla 7, 8 y 9 se observan que los métodos cuantitativos de adulteración de muestras de leche con harina de soya, agua ultrapura y leche en polvo superan el 99,99% de R^2 es decir que el coeficiente de determinación o diseño aplicado al ensayo fue el más idóneo, encontrándose por encima de lo reportado por Montalvo (2022) donde utilizó muestras de miel adulterados con jarabe de maíz, jarabe de goma y azúcar invertida que se encontraron entre 99,57% y 98,02% de R^2 respectivamente.

Los modelos multivariados se determinaron en función de los resultados estadísticos durante el diagnóstico espectral avanzado y el modelo de diagnóstico avanzado, el coeficiente de determinación (R^2), cantidad de Propiedad de Correlación (PC), estimación de error estándar. Si el modelo de desviación predictiva residual RPD es superior a 2,5 el rendimiento del modelo se considera excelente, si está entre 2,0 y 2,5 el modelo es considerado muy bueno, si se encuentra entre 1,8 y 2,0 el modelo es considerado bueno finalmente si se encuentra en 1 y 1,4 el modelo es considerado

pobre (Chakraborty *et al.*, 2021) y si es < 1 el modelo no califica para la aplicación (Gaston *et al.*, 2010).

De la misma forma la tasa de rango de error (RER) viene a ser la relación que existe entre el intervalo de calibración y el SEP, si el RER es > 10 , el modelo tiene buena predicción (Brasil, Cruz-Tirado y Barbin, 2022). Finalmente, el valor máximo de R^2 y los valores mínimos de SE y sesgo de un modelo indican buena precisión de predicción. Al determinar la desviación estándar de los datos originales en el aprovechamiento del MRL (DS=0,1284) y el valor del Error Estándar de cálculo SEE (0,02637) se concluye que el modelo se encuentra por encima de 2,5 (RPD=4,87) considerado como excelente con respecto al agua ultra pura.

Con respecto a la leche en polvo el valor de SEE reporta 0,03694, mientras que el MRL (DS= 0,149) indica que el valor encontrado de la desviación predictiva residual es de 4,033. Sin embargo, para la harina de soya el SEE fue de 0,02797, el MRL de 0,1365 y el RPD 4,88; encontrándose por encima de los adulterantes anteriormente mencionados. En conclusión, todos los modelos aplicados se consideran excelentes según lo indicado por Chakraborty *et al.*, (2021).

En las Figuras 11, 12 y 13, se presentan los valores del porcentaje de adulteración calculado y específico; los comportamientos de los datos en las figuras tienen un comportamiento lineal que está corroborado en los valores de los coeficientes de determinación (R^2) se encuentran por encima del 99.99%.

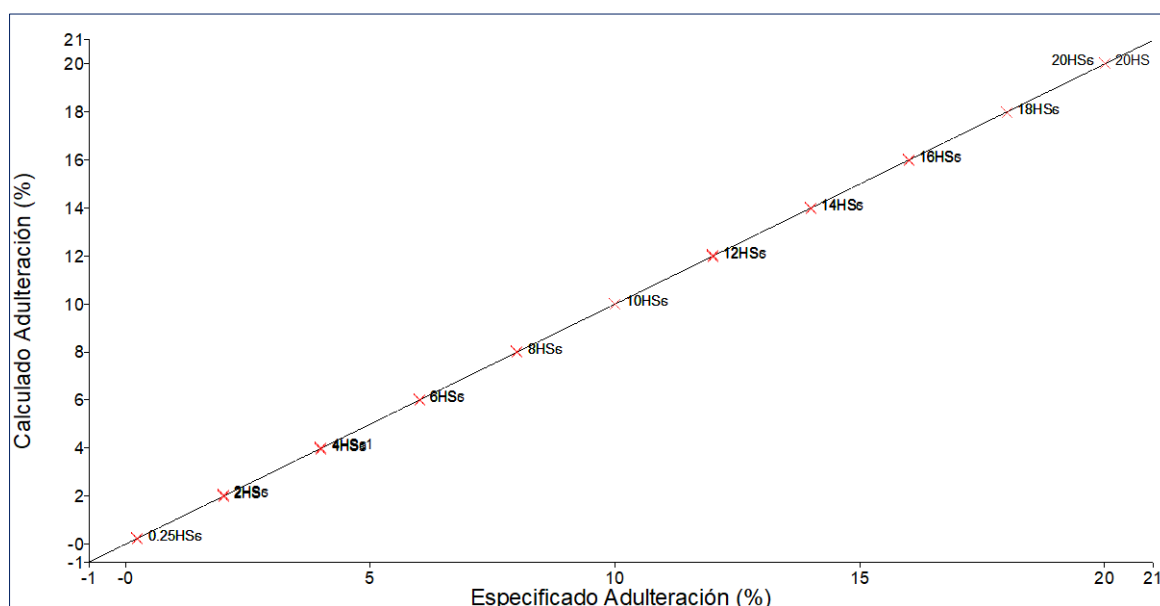


Figura 11
Comportamiento de la leche adulterada con harina de soya calculado Vs Especificado

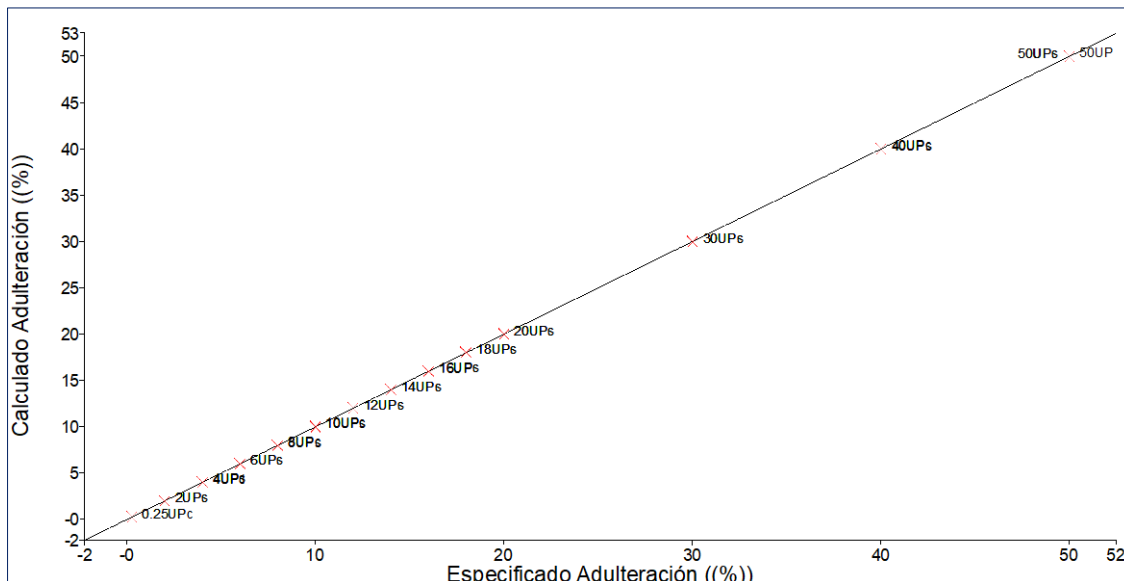


Figura 12
Comportamiento de la leche adulterada con agua ultra pura calculado Vs Especificado

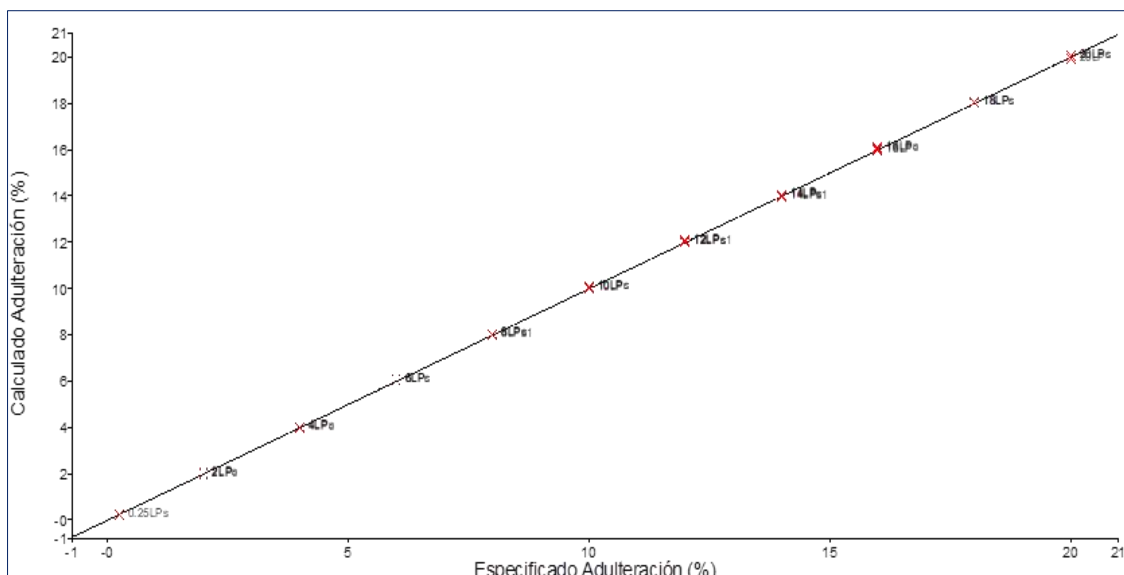


Figura 13
Comportamiento de la leche adulterada con leche en polvo calculado Vs Especificado

4.3. Determinación de la autenticidad de las muestras leche procedentes de 03 localidades del Altomayo (Soritor, Rioja y Calzada), distribuidas en la región San Martín.

En las tablas 10, 11 y 12 se presentan valores de la varianza acumulada en el eje X y Y, así como el Error Estándar de Predicción SEP en muestras adulteradas con agua ultra pura, leche en polvo y harina de soya respectivamente. Se comprobó que, para un grupo determinado de muestras, ellas se encuentran por encima del 95% como se observa en el eje Y mientras que para el eje acumulado de X estos valores se

encuentran por encima del 88%, sin embargo, el SEP indica que los valores deben estar por encima del 67% (Hernández *et al.*, 2008). Por otro lado, las varianzas acumuladas de Y en la leche en polvo y la harina de soya en el primer Componente Principal (PC) se encuentran por debajo de este valor referenciado.

Se analizaron estadísticamente estas correlaciones mediante la prueba F de Fisher y se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0,001$), las muestras evaluadas indican relación entre los datos obtenidos, inclusive errores aceptables, lo que demuestra una buena respuesta al modelo empleado en cuanto a los factores evaluados (Zossi *et al.*, 2010).

Tabla 10

Descomposición de la Regresión Mínimos Parciales – PLS en la leche adulterada con agua ultra pura

Número de PC	Varianza X acumulada	Varianza Y - acumulada	Error Estándar de Predicción – SEP de la adulteración con Agua Ultra Pura
1	88,150	81,659	6,1828
2	88,861	96,150	3,0978
3	89,347	98,780	1,7533
4	91,225	99,572	1,0283
5	91,701	99,858	0,58735
6	92,213	99,944	0,39591
7	92,676	99,981	0,23264
8	93,019	99,994	0,14032
9	93,400	99,999	0,060661
10*	93,786	100	0,030178

Tabla 11

Descomposición de la Regresión Mínimos Parciales – PLS en la leche adulterada con leche en polvo.

Número de PC	Varianza X acumulada	Varianza Y - acumulada	Error Estándar de Predicción – SEP de la adulteración con Leche en Polvo
1	85,959	64,115	3,5092
2	91,407	77,921	2,8353
3	93,589	91,956	1,8901
4	94,348	96,59	1,2691
5	94,892	98,849	0,76598
6	95,304	99,579	0,45893
7	95,669	99,844	0,29124
8	96,143	99,946	0,18184
9	96,417	99,987	0,09324
10*	96,666	99,997	0,041423

Tabla 12

Descomposición de la Regresión Mínimos Parciales – PLS en la leche adulterada con harina de soya.

Número de PC	Varianza X acumulada	Varianza Y - acumulada	Error Estándar de Predicción – SEP de la adulteración con Harina de Soya
1	75,01	23,83	5,6842
2	87,118	72,728	3,4397
3	90,285	87,109	2,6602
4	93,526	96,643	1,3512
5	94,208	98,781	0,8653
6	94,608	99,64	0,52813
7	94,99	99,872	0,34338
8	95,318	99,969	0,17439
9	95,709	99,991	0,095468
10*	95,991	99,999	0,047501

En las tablas 13, 14 y 15 se observa el comportamiento basado en los datos de los valores de ruido (Valor eigen), los valores de los componentes principales (PC) indican la eliminación adecuada de aquellas observaciones que cuentan con elevado nivel de ruido, es decir que aquellas vibraciones que contengan ruido se obtendrán pequeñas correlaciones (Fujimoto, 2022), es decir que los valores de ruido para leche en polvo y harina de soya son mayores que los del agua al igual que su comportamiento vibracional. Mientras que la prueba F, nos presenta el grado de correlación de las varianzas X, Y para diferentes muestras comparadas, además de la dispersión de los datos obtenidos de las medias (Tsutsumi *et al.*, 2020).

Tabla 13

Análisis propio del Agua Ultra Pura: basado en datos X centrados en la media y datos Y centrados en la media (varianza espectral total (X) = 0,003)

Número de PC	Valor Eigen	Varianza X acumulada	Varianza Y - acumulada	Valor Eigen reducido	Estadísticas F	Grados de libertad	Nivel de significancia %
1	2,59E-03	88,15	81,659	2,10E-08	148,08	40	0
2	2,08E-05	88,861	96,15	1,74E-10	1,24	39	27,27
3	1,43E-05	89,347	98,78	1,22E-10	0,86	38	35,85
4	5,51E-05	91,225	99,572	4,83E-10	3,94	37	5,46
5	1,40E-05	91,701	99,858	1,26E-10	1,03	36	31,71
6	1,50E-05	92,213	99,944	1,39E-10	1,14	35	29,21
7	1,36E-05	92,676	99,981	1,30E-10	1,07	34	30,8

Número de PC	Valor Eigen	Varianza X acumulada	Varianza Y - acumulada	Valor Eigen reducido	Estadísticas F	Grados de libertad	Nivel de significancia %
8	1,01E-05	93,019	99,994	9,89E-11	0,81	33	37,53
9	1,12E-05	93,4	99,999	1,13E-10	0,92	32	34,48
10	1,13E-05	93,786	100	1,18E-10	0,96	31	33,51

Tabla 14

Análisis propio Leche en Polvo: basado en datos X centrados en la media y datos Y centrados en la media (varianza espectral total (X) = 0,003)

Número de PC	Valor Eigen	Varianza X acumulada	Varianza Y acumulada	Valor Eigen reducido	Estadísticas Fisher	Grados de libertad	Nivel de significancia %
1	2,01E-03	85,959	64,115	2,16E-08	91,5	30	0
2	1,27E-04	91,407	77,921	1,42E-09	9,16	29	0,51
3	5,10E-05	93,589	91,956	5,87E-10	4,75	28	3,79
4	1,78E-05	94,348	96,59	2,12E-10	1,81	27	18,98
5	1,27E-05	94,892	98,849	1,57E-10	1,38	26	25,09
6	9,63E-06	95,304	99,579	1,24E-10	1,09	25	30,59
7	8,55E-06	95,669	99,844	1,14E-10	1,01	24	32,51
8	1,11E-05	96,143	99,946	1,54E-10	1,41	23	24,74
9	6,41E-06	96,417	99,987	9,31E-11	0,84	22	36,97
10	5,82E-06	96,666	99,997	8,85E-11	0,78	21	38,65

Tabla 15

Análisis propio de Harina de Soya: basado en datos X centrados en la media y datos Y centrados en la media (varianza espectral total (X) = 0,003)

Número de PC	Valor Eigen	Varianza X acumulada	Varianza Y acumulada	Valor Eigen reducido	Estadísticas Fisher	Grados de libertad	Nivel de significancia %
1	1,80E-03	75,01	23,83	1,82E-08	47,84	32	0
2	2,91E-04	87,118	72,728	3,03E-09	14,52	31	0,06
3	7,62E-05	90,285	87,109	8,19E-10	4,87	30	3,51
4	7,79E-05	93,526	96,643	8,67E-10	7,23	29	1,17
5	1,64E-05	94,208	98,781	1,89E-10	1,64	28	21,02
6	9,62E-06	94,608	99,64	1,15E-10	1	27	32,67
7	9,19E-06	94,99	99,872	1,14E-10	0,99	26	32,92
8	7,89E-06	95,318	99,969	1,01E-10	0,87	25	35,91
9	9,40E-06	95,709	99,991	1,26E-10	1,09	24	30,7
10	6,77E-06	95,991	99,999	9,43E-11	0,81	23	37,88

En las tablas 16, 17 y 18, se observa una alta significancia entre los valores de los niveles obtenidos, el mismo comportamiento se repite en los otros adulterantes, sin

embargo, el valor T, coeficiente de regresión y la correlación son mayores para el agua ultra pura, esta conducta se debe a la diferencia en la composición físico química de las muestras adulterantes, mientras que el Error Estándar se encuentra entre el 2,64; 3,69 y 2,8 valores inferiores a los reportados por Pandiselvam *et al.* (2022), quienes mencionan para estimar la capacidad predictiva de la adulteración en una muestra se debe alcanzar el nivel de al menos 10% de Error Estándar, mientras que los valores encontrados en esta investigación se encuentran debajo de lo indicado por la referencia.

Tabla 16

Niveles de los valores obtenidos de la adulteración de leche con Agua Ultra Pura

LV Número	Correl. Prop vs LV	Coeficiente de regresión	Error Estándar	Valor T	Nivel de significancia %
1	0,9037	81,59	0,0264	3093,71	0
2	0,3807	34,37	0,0264	1303,28	0
3	0,1622	14,64	0,0264	555,22	0
4	0,089	8,035	0,0264	304,65	0
5	0,0534	4,823	0,0264	182,88	0
6	0,0294	2,654	0,0264	100,62	0
7	0,0192	1,73	0,0264	65,6	0
8	0,0114	1,031	0,0264	39,08	0
9	0,0073	0,6575	0,0264	24,93	0
10	0,0026	0,2364	0,0264	8,96	0

Tabla 17

Niveles de los valores obtenidos de la adulteración de leche con Leche en Polvo

LV Número	Correl. Prop vs LV	Coeficiente de regresión	Error Estándar	Valor T	Nivel de significancia %
1	0,8007	25,31	0,0369	685,28	0
2	0,3716	11,75	0,0369	318	0
3	0,3746	11,84	0,0369	320,63	0
4	0,2153	6,806	0,0369	184,23	0
5	0,1503	4,751	0,0369	128,62	0
6	0,0855	2,703	0,0369	73,16	0
7	0,0515	1,627	0,0369	44,05	0
8	0,0319	1,008	0,0369	27,3	0
9	0,0201	0,6359	0,0369	17,21	0
10	0,0102	0,3238	0,0369	8,77	0

Tabla 18*Niveles de los valores obtenidos de la adulteración de leche con Harina de Soya*

LV Número	Correl. Prop vs LV	Coefficiente de regresión	Error Estándar	Valor T	Nivel de significancia %
1	0,4882	17,87	0,028	638,96	0
2	0,6993	25,6	0,028	915,28	0
3	0,3792	13,88	0,028	496,38	0
4	0,3088	11,3	0,028	404,15	0
5	0,1462	5,353	0,028	191,38	0
6	0,0926	3,392	0,028	121,25	0
7	0,0482	1,765	0,028	63,11	0
8	0,0311	1,137	0,028	40,66	0
9	0,0151	0,5539	0,028	19,8	0
10	0,0085	0,3114	0,028	11,13	0

La Regresión Lineal Múltiple (MLR), presentada en las tablas 19, 20 y 21 predicen la variabilidad de los modelos matemáticos expresados por las variables independiente y dependiente en este caso de los adulterantes (Agua ultra pura, leche en polvo y harina de soya). La cantidad de líneas ajustadas por el modelo reflejan en sus valores encontrados en el porcentaje de varianza que se encuentran por encima de 99,99%, lográndose un buen nivel de aceptación (Tejada, 2021). La correlación múltiple es igual a 1 en todos los casos, esto significa que la correlación es positiva perfecta, es decir que las variables se correlacionan directamente (Granados, 2016). Así mismo, el valor F alcanzado en los modelos indica que son significativos puesto que los valores alcanzados son suficientemente elevados. (Miller & Freund, 2021).

Tabla 19*Regresión Lineal Múltiple (MLR) completa para el Agua Ultra Pura*

Parámetro	Valor
Error estándar de predicción: Cálculo	0,03018
Correlación múltiple	1
Valor promedio de la propiedad	16,54
% Varianza (R cuadrado)	99,9997
Cálculo del Error Estándar (SEE)	0,02637
Valor F	1,17E+06

Tabla 20*Regresión Lineal Múltiple (MLR) completa para la Leche en Polvo*

Parámetro	Valor
Error estándar de predicción: Cálculo	0,04142
Correlación múltiple	1
Valor promedio de la propiedad	11,13
% Varianza (R cuadrado)	99,9971
Cálculo del Error Estándar (SEE)	0,03694
Valor F	7,32E+04

Tabla 21
Regresión Lineal Múltiple (MLR) completa para la Harina de Soya

Parámetro	Valor
Error estándar de predicción: Cálculo	0,0475
Correlación múltiple	1
Valor promedio de la propiedad	9,846
% Varianza (R cuadrado)	99,9987
Cálculo del Error Estándar (SEE)	0,02797
Valor F	1,71E+05

El valor calculado del calibrado se presenta en la tabla 22, los reportes demuestran un grado de ajuste muy elevado para la predicción de los datos experimentales en el ensayo, estos datos al ser sometidos a la calibración en los diferentes porcentajes de adulteración resultan muy cercanos a los datos tabulados, reflejado en los resultados de R^2 que se encuentran cercanos a la unidad ($R^2=1$), lo que significa que el modelo empleado (PLS) se ajusta a la predicción de muestras adulteradas por Agua Ultra Pura (0,25 – 50%), Leche Polvo (0,25 – 20%) y Harina de Soya (0,25 – 20%), constituyéndose la metodología NIR como un instrumento para predecir la adulteración de muestras de leche. En el anexo 1, se muestran los valores calculados por el Software Spectrum aplicado en esta investigación.

Tabla 22
Porcentaje de adulteración y valor calculado del calibrado para los adulterantes con Agua Ultra Pura, Leche en Polvo y Harina de Soya.

Porcentaje de adulteración	Valor calculado del calibrado		
	Agua ultra pura ($R^2=99,9997$)	Leche polvo ($R^2=99,9971$)	Harina soya ($R^2=99,9987$)
0,25%	0	0	0,2404
0,25%	0,2531	1,972	0,2198
0,25%	0,2611	1,975	0,2402
2%	2,01	1,983	1,998
2%	2,006	1,982	2,045
2%	1,999	1,998	2,054
4%	4,029	3,97	3,98
4%	3,987	3,973	3,981
4%	3,976	3,992	3,942
6%	5,995	6,01	6,007
6%	6,007	6,006	6,002
6%	6,028	6,031	6,011
8%	8,013	8,017	8,002
8%	8,017	8,037	8,014
8%	7,942	7,98	7,995
10%	9,965	9,981	10,02
10%	10,05	10,07	10,01
10%	10	10,01	9,997

Porcentaje de adulteración	Valor calculado del calibrado		
	Agua ultra pura (R ² =99,9997)	Leche polvo (R ² =99,9971)	Harina soya (R ² =99,9987)
12%	12	12,04	11,99
12%	11,99	12,02	11,96
12%	12	12	12,03
14%	13,98	14,03	13,99
14%	13,98	14,01	13,97
14%	13,98	13,98	14,01
16%	15,98	15,95	16,01
16%	16	16	15,97
16%	16,04	16,05	16,02
18%	18	18,01	17,99
18%	18,03	17,99	17,98
18%	18,03	17,99	18
20%	20,01	19,92	20,01
20%	19,97	20,02	20,01
20%	19,98	20,02	20,02
30%	29,97	-	-
30%	30,02	-	-
30%	29,98	-	-
40%	39,99	-	-
40%	40,03	-	-
40%	39,99	-	-
50%	50,04	-	-
50%	49,99	-	-
50%	49,99	-	-

En la tabla 23, se observa el funcionamiento del modelo respecto a muestras de campo que no fueron sometidas a los ensayos.

El modelo indica que existiría un porcentaje de adulteración por agua ultra pura pero que no necesariamente es concluyente ya que en comportamiento vibracional o combinatorio están muy cercanos y que es difícil de precisar por su mismo estado molecular; mientras que las muestras de leche en polvo presentan valores negativos en su adulteración indicando que el modelo no logró cotejar sus valores estructurales, espectrales, de longitud de onda con esas características, lo mismo sucede con los resultados de la harina de soya que tiene el mismo comportamiento. Finalmente, el modelo al ser sometido a otras muestras de leche genuinas permite predecir valores cercanos de adulteración de leche por agua, es decir que no se encontraron muestras adulteradas por leche en polvo o harina de soya.

Tabla 23*Porcentajes de predicción de muestras de leche genuinas con respecto a la adulteración*

Nombre muestra	Agua Ultra Pura			Leche en polvo		Harina de soya	
	Adulteración (%)	Pureza (%)	Densidad (Kg / m ³)	Adulteración (%)	Pureza (%)	Adulteración (%)	Pureza (%)
Muestra 1	8,5391	91,46	940,210	-0,2405	100,241	-0,2814	100,2814
Muestra 2	13,9559	86,04	884,940	-1,0551	101,055	-1,3386	101,3386

De la tabla 23 podemos concluir que la densidad es fuertemente impactada frente a una disminución de la pureza de la muestra, lo que significa una reducción drástica en el % de sólidos totales, por lo tanto, la calidad nutricional de la leche será mínima, dejando de lado su valioso aporte nutricional en nuestra dieta alimenticia.

Por otro lado, la adulteración de la leche causa elevadas pérdidas económicas para las industrias, disminuyendo el valor nutricional de los sub productos y su vida útil, además de representar un potencial riesgo en la salud de los consumidores.

CONCLUSIONES

- Las calibraciones múltiples demuestran la identificación y discriminación de los espectros para la presencia de la grasa C-H en la leche entre los 9091 y 8333 cm^{-1} , el sobre tono de la vibración de estiramiento OH del agua cercano a 6891 cm^{-1} , proteínas cercanas al grupo amino N-H aproximadamente en 6135 cm^{-1} y finalmente carbohidratos C-O entre 4665 y 4574 cm^{-1} .
- Para el modelo de predicción, los modelos cuantitativos superan el 99,99% de R^2 es decir que el coeficiente de determinación o diseño aplicado al ensayo. Los modelos multivariados de la Propiedad de Correlación (PC), estimación de error estándar presentan una desviación predictiva residual RPD superior a 2,5 considerándose el rendimiento del modelo como excelente, calificándose para la aplicación por ser >1 . En conclusión, todos los modelos aplicados se consideran excelentes. El modelo nos permite predecir muestras adulteradas de leche con Agua Ultra Pura, Leche en Polvo y Harina de Soya. Finalmente, el modelo al ser sometido a otras muestras de leche genuinas permitió predecir valores cercanos de adulteración de leche por agua.
- En la determinación de la autenticidad de la leche frente a los adulterados, el error estándar se encuentra alrededor de 2,64; 3,69 y 2,8 respectivamente, valores menores al 10% referidos por diversos autores. El porcentaje (%) de varianza se encuentra por encima de 99,99%, la correlación múltiple es igual a 1 en todos los casos, esto significa que la correlación es positiva perfecta, es decir que las variables se correlacionan directamente; así mismo, el valor F alcanzado en los modelos indica que son significativos. La espectroscopia NIR con los métodos multivariados es una herramienta rápida para la detección y cuantificación de leche de vaca adulterada con Agua Ultra Pura, Leche en Polvo y Harina de Soya y el modelo del PLS se puede utilizar como una herramienta de detección y cuantificación, con un coeficiente de determinación (R^2) por encima del 99.99%.

RECOMENDACIONES

- Para posteriores investigaciones utilizar mayor cantidad de datos para enriquecer los datos experimentales reprocesados.
- Realizar nuevos ensayos combinando adulterantes (agua ultra pura + harina de soya) para evaluar el comportamiento de los espectros en función a su longitud de onda.
- Se sugiere estudiar y/o analizar mezclas de diferentes tipos de leche de vacunos y ovinos para conocer el comportamiento de las vibraciones, estiramientos y los sobre tonos de las estructuras moleculares.
- En lo posible estudiar el comportamiento de muestras de leche en diferentes ecosistemas de la región San Martín.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alomar, D y Fuchslocher, R. 1998. Fundamentos de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) como método de análisis de forraje. *Agrosur*. 26 (1): 88-104.
- Batten, G. 1998. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: The potential and limitations. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 38: 697-706.
- Blanco, M. and Villarroya, I. (2002) NIR Spectroscopy: A Rapid-Response Analytical Tool. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 21, 240-250.
- Brasil, Y. L., Cruz-Tirado, J. P., & Barbin, D. F. (2022). Fast online estimation of quail eggs freshness using portable NIR spectrometer and machine learning. *Food Control*, 131, 108418. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108418>.
- Calderón - Rangel, A.; Rodríguez, V.; Martínez- H, N. 2013. Determinación de adulterantes en leches crudas acopiadas en procesadoras de quesos en Montería (Córdoba). *Orinoquia*, 17(2), 202-206.
- Chakraborty, S. K., Mahanti, N. K., Mansoori, S. M., Tripathi, M. K., Kotwaliwale, N., & Jayas, D. S. (2021). Non-destructive classification and prediction of aflatoxin-B1 concentration in maize kernels using Vis-NIR (400-1000 nm) hyperspectral imaging. *Journal of Food Science & Technology*, 58, 437–450. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04552-w>.
- Cozzolino, D., Fassio, A y fernández, E. 2003. Uso de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano para el análisis de calidad de ensilaje de maíz. *Agricultura Técnica (Chile)*. 63(4): 387-393. INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Cozzolino, D., Murray, I. (2004). Identification of animal meat muscles by visible and near infrared reflectance spectroscopy, *Iwt* 37, 447-452.
- Das, S., Sivaramakrishnan, M., Biswas, K., Goswami, B. (2011). Performance study of a 'constant phase angle based' impedance sensor to detect milk adulteration. *Sensors and Actuators A Physical*, 167, 273–278.
- Defaz Mendoza, Edison Mauricio y Oscar Danilo Pérez Acosta, Oscar Danilo "DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA LECHE CRUDA DE LOS CENTROS DE ACOPIO DE LAS 10 ASOCIACIONES DEL CONLAC-T", <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4251/1/T-UCÉ-0014-60.pdf>.

- Dos Santos Pereira, EV, De Sousa Fernandes, DD, De Araújo, MCU, Diniz, PHGD, & Maciel, MIS (2020). Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using NIR spectroscopy and PLS algorithms. *Lwt*, 127, 109427, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109427>.
- Dupont, D. Croguennec, T. Pochet, S., (2018). Milk Proteins - Analytical Methods, in: Reference Module in Food Science, Elsevier, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22616-4>.
- Fennema O. (2000). Química de los Alimentos; Acribia; New York.; cap. 14, pp. 1001-1020.
- Fujimoto, T. (2022). Evaluation of the age dependent variation of wood properties based on the eigenvalue distribution of near infrared spectral matrices. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 225, 104576. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2022.104576>.
- Garrido-Varo, A., Carrte, R y Fernández-Cabañas, V. 1998. Use of difference near infrared reflectance spectra to extract relevant information from the spectra Agro-Food Products. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 6: A159-A162.
- Gaston, E., Frias, J. M., Cullen, P. J., O'Donnell, C. P., & Gowen, A. A. (2010). Prediction of polyphenol oxidase activity using visible nearinfrared hyperspectral imaging on mushroom (*Agaricus bisporus*) caps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 6226–6233. <https://doi.org/10.1021/jf100501q>
- Givens, D. I., & Deaville, E. R. (1999). The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(7), 1131-1145
- Granados, R. M. (2016). Modelos de regresión lineal múltiple. *Granada, España: Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Granada*.
- Harding, F. (Ed.). (1995). *Milk quality*. New York: Blackie Academic & Professional.
- Hernández, M.; N. Monroy y E. Rodas. 2008. Análisis de fibra de caña con tecnología NIR. Trabajo presentado en el Congreso de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe, 7, Guatemala. [En línea] Disponible en <http://www.ataqua.org/index.php?showpage>
- Hsieh, C. L., Hung, C. Y., & Kuo, C. Y. (2011). Quantization of adulteration ratio of raw cow milk by least squares support vector machines (LS-SVM) and visible/near infrared spectroscopy. In *Engineering applications of neural networks* (pp. 130-139). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Kartheek, M.; Anton, A.; Kottai, A. 2011. Determination of Adulterants in Food: A Review. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 3(2), 629-636.
- Kays, S; Barton, F; Windham, W. 2000. Predicting protein content by near infrared reflectance spectroscopy in diverse cereal food products. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 8, 35–43 (2000).
- Kurowski, C., Timm, D., Grummisch, U., Meyhack, U y Grunewald, H. 1998. The benefits of near infrared analysis for food products quality. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 6: A343-A348.
- Mabrook, M. F., Petty, M. C. 2003. A novel technique for the detection of added water to full fat milk using single frequency admittance measurements. *Sensors and Actuators B*, 96, 215–218.
- Manrique, R., Moreira, V., Dumon T, J. C y Alomar, D. 1996. Valor energético de ensilajes de corte directo en la zona sur. In: *8eds Avances en Producción Animal*. Universidad Austral de Chile.
- Melfsen, A., Hartung, E., & Haeussermann, A. (2012). Accuracy of in-line milk composition analysis with diffuse reflectance near-infrared spectroscopy. *Journal of dairy science*, 95(11), 6465-6476.
- Miller, C. 2001. Chemical principles of near infrared technology. In: *Nearinfrared technology in the agricultural and food industries*. Editado por Phil Williams y Karl Norris. American Association of Cereal Chemists. St Paul, Minnesota. USA. Pp: 19-37.
- Miller, I., & Freund, J. E. (2021). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Montalvo Hurtado, W. D. (2022). Análisis en la adulteración de la miel de abeja (*Apis mellifera*) mediante el uso de Espectrometría Infrarrojo Cercano en la región San Martín. *Tesis de pre grado*, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Murray, I., 2004. Scattered information: philosophy and practice of near infrared spectroscopy. *Proceedings of the 11th International Conference on Near Infrared spectroscopy*. NIR Publications 2.
- Núñez-Sánchez, N., Martínez-Marín, A. L., Polvillo, O., Fernández-Cabanás, V., M., Carrizosa, J., Urrutia, B., Serradilla, J., M., (2016). Near Infrared Spectroscopy (NIRS) for the determination of the milk fat fatty acid profile of goats, *Food Chem.* 190 (2016) 244–252, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.083>.

- Osborne, B., Fearn, T y Hindle, P. 1993. Practical NIRS spectroscopy with applications in food and beverage analysis. 2^o ed. Inglaterra. Longman Scientific and Technical. 217 p.
- Pandiselvam, R., Mahanti, NK, Manikantan, MR, Kothakota, A., Chakraborty, SK, Ramesh, SV y Beegum, PS (2022). Detección rápida de adulteración en polvo de coco desecado: espectroscopia Vis-NIR y enfoque quimiométrico. *Control de Alimentos*, 133, 108588. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108588>
- Paseiro Lozada. (1980). P. Control de calidad de la leche. Universidad de Santiago. Facultad de farmacia y departamento de bromatología y tecnología y análisis químico aplicado. Santiago de Chile. p.21 – 42.
- Pereira, E.V.D.S., Fernandes, D.D.d.S. De Araújo, M.C.U. Diniz, P.H.G.D Maciel. M.I. S. (2020) Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using NIR spectroscopy and PLS algorithms, *LWT- Food Sci. Technol.* 127 (2020) 109427, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109427>.
- Permanyer, J y Pérez, M. 1989. Compositional analysis of powdered cocoa products by near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Food Science*. 54(3): 768-769.
- Revilla, A. 2000. Tecnología de la leche. 3ra. Ed. rev. Escuela Agrícola Panameicana, Zamorano, Honduras, Centroamérica. 396 p.
- Robertson, I., & Shelton, C. T. (2014). Use of NIR Spectroscopy and Adulterant Screen for the Detection of Common Adulterants in Milk. *DAIRY*, 40.
- Robertson, I., (2014). Use of NIR Spectroscopy and Adulterant Screen for the Detection of Common Adulterants in Milk. Aplicación Brief. PerkinElmer, Inc. www.perkinelmer.com
- Roggo, Y; Duponchel, L; Noe, B; Huevenne, J.P. 2002. Sucrose content determination of sugar beets by near infrared reflectance spectroscopy. Comparison of calibration methods and calibration transfer. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 10, 137–150 (2002).
- Ruiz, N. 2001. Near infrared spectroscopy: Present and Future Applications. ContiGroup Companies, Inc. USA. Technical Bulletin ASA (American Soybean Association).
- Sánchez, O., (2015). Uso de espectroscopía visible e infrarrojo cercano para la detección de adulteración en leche.
- Santos, P. M., Pereira-Filho, E. R., & Rodriguez-Saona, L. E. (2013). Application of hand-held and portable infrared spectrometers in bovine milk analysis. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(6), 1205-1211.

- Shenk, J. S y Westerhaus, M. O. 1994. The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In: Forage quality, evaluation and utilization. Fahey, G (ed). Based on the national conference of forage quality, Evaluation and utilization held at the University of Nebraska, Lincoln, USA, 13-15 August 1994. Pp: 406-448.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., Nieman, T. A., & María del Carmen (trad.) Martín Gómez. (2001). *Principios de análisis instrumental* (Vol. 5, pp. 614-633). Madrid: McGraw-Hill.
- Sutton, D. (2000). Altering milk composition by feeding. *J Dairy Science*. 72:8012814.
- Tejada, G., Velasquez, C., Aredo, V., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2021). Predicción del contenido de almidón en queso fresco adulterado utilizando Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales, Regresión Lineal Múltiple e Imágenes Hiperespectrales. *Journal of Agro-industry Sciences*, 3(1), 15-20. <http://dx.doi.org/10.17268/JAIS>
- Tsutsumi, H., Haga, H. y Fujimoto, T. (2020). Variación en la contracción de la madera evaluada por la distribución de valores propios de la matriz espectral del infrarrojo cercano. *Espectroscopia vibratoria*, 109, 103091. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103091>.
- Workman, J. (2001). Applications of NIR to natural products. In *Handbook of Organic Compounds*, Academic Press, Boston, Chapter 15, 170-182
- Zossi, S., Ruiz, R. M., Sorol, N., & Sastre, M. (2010). Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS): Su aplicación en análisis de jugos de caña de azúcar. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 87(1), 01-06.

ANEXOS

Anexo 1

Datos estadísticos

Estándares	Aprovechamiento	Real	Valor calculado	%Residual	Residual
50Ups	0,4724	50	49,99	0,0201	0,01005
50Upc	0,773	50	49,99	0,02293	0,01146
50UP	0,309	50	50,04	-0,0752	-0,0376
40Ups	0,2425	40	39,99	0,02952	0,01181
40Upc	0,1374	40	40,03	-0,08208	-0,03283
40UP	0,17	40	39,99	0,03464	0,01385
30Ups	0,1626	30	29,98	0,07374	0,02212
30Upc	0,1373	30	30,02	-0,07378	-0,02213
30UP	0,4014	30	29,97	0,08835	0,0265
20Ups	0,1749	20	19,98	0,1116	0,02232
20Upc	0,06656	20	19,97	0,132	0,02639
20UP	0,5076	20	20,01	-0,05553	-0,01111
18Ups	0,2102	18	18,03	-0,1644	-0,02959
18Upc	0,2276	18	18,03	-0,1836	-0,03305
18UP	0,1948	18	18	0,008297	0,001493
16Ups	0,2058	16	16,04	-0,2306	-0,0369
16Upc	0,1064	16	16	0,02428	0,003884
16UP	0,4098	16	15,98	0,1018	0,0163
14Ups	0,213	14	13,98	0,1322	0,01851
14Upc	0,2393	14	13,98	0,1661	0,02326
14UP	0,06868	14	13,98	0,1772	0,02481
12Ups	0,1889	12	12	0,003552	0,0004263
12Upc	0,1904	12	11,99	0,04874	0,005849
12UP	0,1672	12	12	0,03111	0,003734
10Ups	0,1464	10	10	-0,009193	-0,0009193
10Upc	0,1003	10	10,05	-0,505	-0,0505
10UP	0,1895	10	9,965	0,3548	0,03548
8Ups	0,2812	8	7,942	0,7228	0,05783
8Upc	0,1011	8	8,017	-0,2185	-0,01748
8UP	0,2801	8	8,013	-0,162	-0,01296
6Ups	0,2128	6	6,028	-0,46	-0,0276
6Upc	0,3229	6	6,007	-0,1126	-0,006756
6UP	0,1428	6	5,995	0,08153	0,004892
4Ups	0,1898	4	4	0,01161	0,0004642
4Upc	0,1325	4	3,976	0,601	0,02404
4UP1	0,6082	4	3,987	0,3312	0,01325
4UP	0,3304	4	4,029	-0,7299	-0,0292
2Ups	0,5535	2	1,999	0,03562	0,0007124
2Upc	0,1648	2	2,006	-0,3055	-0,00611
2UP	0,192	2	2,01	-0,5236	-0,01047

0,25Upc	0,3917	0,25	0,2611	-4,449	-0,01112
0,25UP	0,1787	0,25	0,2531	-1,242	-0,003104
Estándares	Aprovechamiento	Real	Valor calculado	%Residual	Residual
2LP	0,3665	2	1,983	0,8535	0,01707
2LPc	0,4114	2	1,982	0,883	0,01766
2LPs	0,4461	2	1,998	0,09429	0,001886
4LP	0,1533	4	3,97	0,7521	0,03009
4LPc	0,3139	4	3,973	0,6776	0,0271
4LPs	0,2129	4	3,992	0,2099	0,08398
6LP	0,4675	6	6,01	-0,1699	-0,01019
6LPc	0,248	6	6,006	-0,1065	-0,006392
6LPs	0,2205	6	6,031	-0,5117	-0,0307
8LPc	0,08369	8	8,017	-0,2091	-0,01673
8LPs	0,3934	8	8,037	-0,4616	-0,03693
8LPs1	0,6218	8	7,98	0,2479	0,01984
10LP	0,215	10	9,981	0,1948	0,01948
10LPc	0,0733	10	10,07	-0,6974	-0,06974
10LPs	0,1846	10	10,01	-0,06287	-0,006287
12LP	0,1404	12	12,04	-0,305	-0,0366
12LPc	0,4022	12	12,02	-0,1753	-0,02104
12LPs	0,461	12	12	-0,002774	-0,0003328
12LPs1	0,2099	12	11,97	0,2504	0,03005
14LP	0,2002	14	14,03	-0,2283	-0,03196
14LPc	0,3435	14	14,01	-0,04652	-0,006513
14LPs	0,2532	14	13,98	0,1206	0,01688
14LPs1	0,2807	14	13,96	0,2788	0,03903
16LP	0,2961	16	15,95	0,3066	0,04906
16LPc	0,2314	16	16	0,01642	0,002627
16LPs	0,2904	16	16,05	-0,3245	-0,05192
18LP	0,5179	18	18,01	-0,06061	-0,01091
18LPc	0,4229	18	17,99	0,03513	0,006323
18LPs	0,7323	18	17,99	0,06975	0,01255
20LP	0,1729	20	19,92	0,3914	0,07828
20LPc	0,2755	20	20,02	-0,08535	-0,01707
20LPs	0,3576	20	20,02	-0,115	-0,023

Estándares	Aprovechamiento	Real	Valor calculado	%Residual	Residual
0,25HS	0,3193	0,25	0,2404	3,855	0,009638
0,25HSc	0,3918	0,25	0,2198	12,09	0,03024
0,25HSs	0,4539	0,25	0,402	3,937	0,009841
2HS	0,4749	2	1,998	0,07803	0,001561
2HSc	0,6065	2	2,045	-2,259	-0,04518
2HSs	0,6033	2	2,054	-2,713	-0,05425
4HS	0,358	4	3,98	0,488	0,01952
4HSc	0,2538	4	3,981	0,4649	0,01859
4HSs	0,6256	4	3,942	1,451	0,05803
4HSs1	0,3592	4	4,032	-0,8087	-0,03235
6HS	0,2329	6	6,007	-0,1107	-0,006643
6HSc	0,1402	6	6,002	-0,03472	-0,002083
6HSs	0,1724	6	6,011	-0,1878	-0,01127
8HS	0,1196	8	8,002	-0,02607	-0,002086
8HSc	0,1447	8	8,014	-0,1718	-0,01374
8HSs	0,2941	8	7,995	0,05749	0,0046
10HS	0,3102	10	10,02	-0,1582	-0,01582
10HSc	0,25	10	10,01	-0,09016	-0,009016
10HSs	0,2933	10	9,997	0,03477	0,003477
12HS	0,2854	12	11,99	0,05821	0,006986
12HSc	0,2473	12	11,96	0,3251	0,03901
12HSs	0,2501	12	12,03	-0,2372	-0,02846
14HS	0,1651	14	13,99	0,06383	0,008936
14HSc	0,1248	14	13,97	0,2375	0,03325
14HSs	0,155	14	14,01	-0,0914	-0,0128
16HS	0,3945	16	16,01	-0,09211	-0,01474
16HSc	0,168	16	15,97	0,1875	0,03
16HSs	0,2691	16	16,02	-0,0999	-0,01598
18HS	0,3161	18	17,99	0,0397	0,007147
18HSc	0,2304	18	17,98	0,1044	0,01879
18HSs	0,1332	18	18	0,01053	0,001896
20HS	0,3583	20	20,01	-0,06925	-0,01385
20HSc	0,2155	20	20,01	-0,0312	-0,006241
20HSs	0,2834	20	20,02	-0,08498	-0,017

Anexo 2. Panel Fotográfico



Determinación de parámetros Físico – Químico.



Determinación de parámetros Físico – Químico.



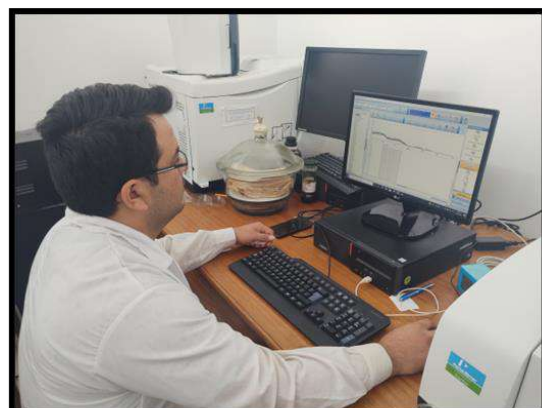
Preparación de los % de dilución.



Análisis de muestras adulteradas.



Calibración del Espectrómetro NIR – FTIR



Procesamiento y recolección de datos.

Detección de adulteración en leche fresca aplicando Espectrometría Infrarrojo Cercano en la region San Martin

por Willy Anderson Tunjar Garcia

Fecha de entrega: 02-oct-2024 10:45a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2453252136

Nombre del archivo: FIAI_-_Willy_Anderson_Tunjar_Garc_a_26.09.2024.docx (4.22M)

Total de palabras: 13897

Total de caracteres: 74725

Detección de adulteración en leche fresca aplicando Espectrometría Infrarrojo Cercano en la region San Martin

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	cybertesis.uach.cl Fuente de Internet	1%
5	1library.co Fuente de Internet	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	1%
7	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
9	www.untrm.edu.pe Fuente de Internet	