



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

UNT

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**Capacidad de predicción de la humedad por espectroscopía infrarroja
por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz (*Zea mays* L.)
amarillo “chochoca”**

Moisture prediction capacity by Fourier transform infrared spectroscopy
(FTIR) in “chochoca” yellow corn flour (*Zea mays* L.)

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR: Verde Espinoza, Leydi Laura

ASESOR: MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen

TRUJILLO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios:

Por su amor infinito, por tomar mi mano y darme fuerza cada día para seguir adelante, por sus inmensas bendiciones y por cada enseñanza aprendida, por haber guiado mi camino y permitirme llegar este punto. ¡Gracias Elohim!

A mi mamá:

Juanita, por el inmenso amor, sacrificio y apoyo incondicional en cada momento de mi vida, sus oraciones incansables, sus abrazos arrulladores, sus consejos y palabras de ánimo, fueron el sustento a lo largo de mi carrera, por ser mi más grande ejemplo a seguir. Por los valores cristianos que me inculcaste, para ser de mi la persona que hoy soy.

A mis hermanos:

Celso, Guillermo, Adán y Walter por consentirme con amor y cariño siempre, por su apoyo incondicional, su paciencia y cada consejo en mi vida que me ayudaron a tomar mejores decisiones. Por permitirme disfrutar cada sonrisa de nuestros momentos juntos.

Leydi Laura Verde Espinoza

Sustentado y Aprobado ante el Honorable Jurado:

Capacidad de predicción de la humedad por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz (*Zea mays* L.) amarillo “chochoca”

Presentado por:

Br. VERDE ESPINOZA, Leydi Laura

Aprobado por:



Dra. Carmen Rosa Rojas Padilla

Presidente



Dr. Mariano Wilmer Lujan Corro

Secretario



Mg. Karla Margielly Zavaleta Guzmán

Asesor:



MSc. Gabriela del Carmen Barraza Jáuregui

Miembro Asesor

AGRADECIMIENTO

A la MSc. Gabriela Barraza, por todo el apoyo y guía brindado en la elección y elaboración de esta tesis, asimismo por contribuir en mi formación profesional y abrirme las puertas a un laboratorio equipado para lograr el desarrollo de este trabajo de investigación.

A toda la plana docente de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial, por sus enseñanzas, consejos y experiencias, nutriendo de esta manera mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos de la promoción XXI por los 5 años de estudios, trabajos grupales, salidas y todos los momentos gratos compartidos. En especial gracias a Lourdes, Evelyn, Cristina, Emperatriz y Rebeca.

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	3
2.1. Materiales.....	3
2.2. Diseño metodológico.....	3
2.2.1. Esquema experimental de la investigación.....	3
2.2.2. Preparación de muestras.....	3
2.2.3. Determinación del contenido de humedad de las muestras.....	5
2.2.4. Adquisición de espectros.....	5
2.2.5. Pre-procesamiento espectral.....	6
2.3. Análisis de datos.....	6
2.3.1. Minería de datos.....	6
2.3.2. Machine learning para construcción de un modelo de completo PLS-R (Regresión De Mínimos Cuadrados Parciales).....	7
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8

3.1. Minería de datos para la identificación de espectros atípicos.....	8
3.2. Machine learning para construcción de un modelo de regresión completo empleando Regresión De Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-R)	11
IV. CONCLUSIONES.....	16
V. RECOMENDACIONES	17
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
ANEXOS.....	

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

RESUMEN

La harina de maíz *Zea mays* L. amarillo “chochoca” es un producto sumamente susceptible a los cambios de humedad; por lo cual es obligatorio realizar un control constante de su contenido de humedad para garantizar su calidad. En consecuencia, las investigaciones indican que existen métodos de análisis de alimentos, más prácticos, sencillos que permiten obtener en menor tiempo los resultados, volviéndolos más eficientes. Por consiguiente, se buscó evaluar la capacidad de predicción de la humedad por espectroscopia infrarrojo en harina de maíz amarillo “chochoca”. Las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca” se acondicionaron en recipientes herméticos con 5 humedades relativas diferentes: 0%, 33%, 55%, 76% y 86%. Se trabajó con 5 replicaciones por cada humedad relativa acondicionada, con 13 repeticiones. Se obtuvo 325 espectros por FTIR (Thermo Scientific, Alemania), en un rango de longitud de onda entre 1080 y 4000 nm y se relacionaron con datos gravimétricos. Se separó espectros típicos de atípicos con minería de datos aplicando distancia de Mahalanobis. Para la construcción del modelo PLSR se escogió 63 espectros para la calibración y 27 espectros para la validación externa. Se trabajó la primera derivada de Savitzky-Golay, debido a que obtuvo un menor valor de error cuadrático medio (0.545) y mayor coeficiente de determinación de validación cruzada (0.913). En la validación externa, el coeficiente de determinación (R^2_v), 0.951 y la relación de desviación de la predicción (RPD), 4.510 determinaron precisión de la capacidad predictiva. Por lo tanto, se evaluó la capacidad predictiva para la determinación de humedad por espectroscopia infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz amarillo “chochoca” como un método alternativo y rápido.

Palabras clave: FTIR, harina de chochoca maíz amarillo, distancia de Mahalanobis, Regresión De Mínimo Cuadrados Parciales (PLRS), coeficiente de determinación, relación de desviación de la predicción.

ABSTRACT

Zea mays L. yellow “chochoca” cornmeal is a product highly susceptible to changes in humidity; for which it is mandatory to carry out a constant control of its moisture content to guarantee its quality. Consequently, research indicates that there are more practical, simple food analysis methods that allow obtaining results in less time, making them more efficient. Therefore, it was sought to evaluate the moisture prediction capacity by infrared spectroscopy in “chochoca” yellow corn flour. The samples of “chochoca” yellow corn flour were conditioned in hermetic containers with 5 different relative humidities: 0%, 33%, 55%, 76% and 86%. We worked with 5 replications for each conditioned relative humidity, with 13 repetitions. 325 spectra were obtained by FTIR (Thermo Scientific, Germany), in a wavelength range between 1080 and 4000 nm and related to gravimetric data. Typical spectra were separated from outliers with data mining applying Mahalanobis distance. For the construction of the PLSR model, 63 spectra were chosen for calibration and 27 spectra for external validation. The first derivative of Savitzky-Golay was used, since it obtained a lower mean square error value (0.545) and a higher cross-validation coefficient of determination (0.913). In external validation, the coefficient of determination (R^2V), 0.951, and the ratio of prediction deviation (RPD), 4.510 determined the accuracy of the predictive ability. Therefore, the predictive capacity for moisture determination by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) in “chochoca” yellow cornmeal was evaluated as an alternative and fast method.

Keywords: FTIR, chochoca yellow corn meal, Mahalanobis distance, Partial Least Squares (PLRS) regression, coefficient of determination, prediction deviation ratio.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos más importantes del mundo por la cantidad de hectáreas cultivadas y por su aporte a la alimentación. México, Perú y Guatemala establecieron su economía y alimentación en base al maíz. En el Perú existen 55 variedades de maíz, según la forma, color de la mazorca y su adaptación a diferentes alturas (MIDAGRI,2022).

El maíz se consume, como grano fresco (choclo) o como grano seco. Uno de los productos de mayor consumo es la harina de maíz amarillo amiláceo, conocida como “chochoca”. Los granos de maíz pasan por una cocción, secado y finalmente, una molienda, obteniendo la harina de chococa. Es un alimento muy consumido en sopas en la región de la sierra de nuestro país (Zevallos & Chávarri, 2006).

La harina de maíz es un alimento 100% natural, energético y nutritivo, es un excelente complemento en la industria alimentaria por su calidad nutricional y fuente proteica, además no contiene gluten, siendo un alimento considerado para las personas celiacas. Debido a ello, ha atraído mucho interés académico e industrial, ya que es un recurso abundante, renovable, barato y biodegradable (win-Reyes & Clerici, 2020; Zevallos & Chávarri, 2006).

Por ende, es sumamente importante medir parámetros de calidad en la harina de chococa para conocer su composición y funcionalidad, uno de los más importantes en esta evaluación es el contenido de humedad, por su relevancia en la estabilidad microbiológica y la seguridad alimentaria que tienen implicancia en términos de valor comercial (Chinwan & Castell-Perez, 2019).

En la actualidad, existen diversas técnicas analíticas comúnmente utilizadas para determinar el contenido de humedad en los alimentos, se basan en determinaciones gravimétricas. Sin embargo, esta técnica entrega resultados variables con largos periodos de tiempo (Aghababei et al., 2017). Debido a ello actualmente se está empleando una técnica alternativa emergente que está relacionada con el uso de la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), que es un método rápido y no destructivo para el análisis de la calidad de los alimentos (Ciursă et al., 2021; Jamwal et al., 2020; Feng et al., 2019; Genkawa et al., 2016; Windarsih et al., 2021).

La técnica de adquisición de datos por transformada de Fourier en el espectro infrarrojo (FTIR) se ofrece como técnica alternativa para el análisis de alimentos, porque permite obtener resultados estadísticamente confiables y en menor tiempo (Aykas et al., 2020; Jamwal et al., 2020; Nesakumar et al., 2018).

Hoy en día varias investigaciones han reportado el uso de la espectroscopia infrarroja aplicando el modelo PLSR para la caracterización de diferentes componentes en alimentos como en el bagazo de la caña de azúcar, aceite de coco, remolacha, miel de abeja y pasta de tomate (Aykas et al., 2020; Ciursă et al., 2021; Jamwal et al., 2020; Nesakumar et al., 2018; Zara et al., 2017) logrando así demostrar que es un instrumento eficaz en el análisis de alimentos (Aghababei et al., 2017; Gonzáles et al., 2016).

Por consiguiente, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la capacidad de predicción de la humedad por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz (*Zea mays* L.) amarillo “chochoca”.

II. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Se utilizó cuatro kilos de harina de maíz amarillo “chochoca” obtenida a partir de la cocción, secado y molienda de los granos de maíz amarillo, producida y envasada por comercializadora de productos naturales Peruinka. Posteriormente, dichas muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Análisis por instrumentación del Departamento de Ciencias Agroindustriales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo.

Se realizó un análisis proximal a la harina de maíz amarillo “chochoca” señalando la siguiente composición: humedad, $13.06\% \pm 0.5$; proteínas, $14.76\% \pm 1.5$; carbohidratos, 61.70% ; grasa, $3.19\% \pm 0.2$; ceniza, $1.95\% \pm 0.5$; energía, 332.03 kcal y fibra total, 2.11% .

2.2. Diseño metodológico

2.2.1. Esquema experimental de la investigación

En la Figura 1 se muestra el esquema experimental para evaluar la capacidad de predicción por espectroscopía infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz amarillo “chochoca”.

2.2.2. Preparación de muestras

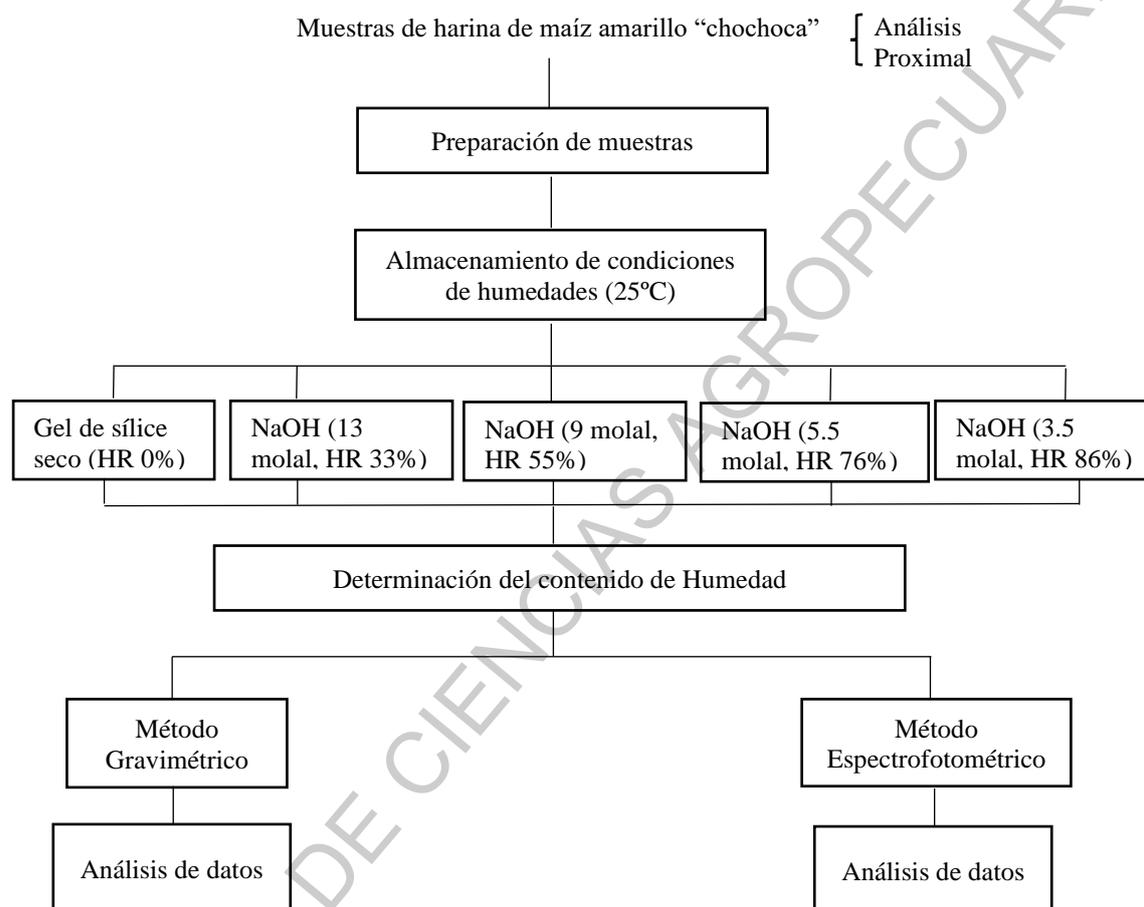
La harina de maíz amarillo “chochoca” pasó por un tamiz número N°60 (serie ASTM) de abertura de malla de 250 μm para uniformizar el tamaño de partícula en la muestra. La humedad inicial de la harina fue de $13.06\% \pm 0.05$. Después, se colocó las muestras de harina en la estufa (Memmert, UNSS PLUS, Alemania) de aire forzado a 50 °C por 48 h, obteniendo una humedad en base seca de $8.24\% \pm 0.002$. Para obtener distintos contenidos de humedad relativa, se colocó cinco vasos de precipitado de 50 ml conteniendo $4 \pm 0.001\text{g}$ de harina de maíz amarillo “chochoca” cada uno y un vaso precipitado de 100

ml conteniendo diferentes soluciones salinas: NaOH (13 molal, HR 33%); NaOH (9 molal, HR 55%), NaOH (5.5 molal, HR 76%) y NaOH (3.5 molal, HR 86%), además de silica de gel seca (HR 0%) (Barbosa-Cánovas et al., 2007), en recipientes herméticos a $25^{\circ}\text{C} \pm 2$ como se muestra en la Figura 1. Se colocaron cubetas transparentes de 1x1x4 cm conteniendo timol en los recipientes con humedades relativas de 33%, 55%, 76% y 86% para evitar el crecimiento de hongos. Se logró el equilibrio en las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca” después de 15 días cuando no existió variación significativa en el peso (<0.1 gramos), medido con una balanza analítica (AS 82/220.X2, Radwag, Polonia) (Greenspan, 1977). Se realizaron 13 repeticiones de cada humedad relativa.

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Figura 1

Esquema experimental para evaluar la capacidad de predicción de humedad por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz (Zea mays L.) amarillo “chochoca”



2.2.3. Determinación del contenido de humedad de las muestras

El contenido de humedad en las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca” en los diferentes recipientes herméticos de acuerdo con el método gravimétrico (AOAC, 2005) en una estufa de aire forzado a 105 °C por 30 horas (Che & Mirghani, 2000).

2.2.4. Adquisición de espectros

Para la adquisición de los espectros de las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca”, se utilizó un espectrofotómetro en el rango de infrarrojo medio con

transformada de Fourier (Thermo Scientific, Nicolet iS50, Alemania) en un rango de frecuencia de $600 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. El análisis FTIR se realizó directamente sobre la superficie del cristal ATR en las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca”. Se usó una resolución de 4 cm^{-1} con 16 escaneos por espectro en el modo de reflectancia. Finalmente, los espectros FTIR fueron transformados en modo absorbancia usando el software OMNIC Specta 9.7.39 (Ciursă et al., 2021).

2.2.5. Pre-procesamiento espectral

Se aplicó ingeniería de datos a los espectros de las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca”, siendo una base de datos conformada por 325 valores de absorbancia correspondientes a cada longitud de onda, se homogenizó el inicio de los espectros en 1080 nm hasta 4000 nm (con número de 6057 intervalos); se realizó la corrección de la línea base para que los espectros no presentaran valores negativos de absorbancia, sumando 0.08 u.a. a cada espectro. Se utilizó el software Python 3.7.1 (Ciursă et al., 2021).

2.3. Análisis de datos

2.3.1. Minería de datos

Se evaluó la presencia de espectros atípicos en la base de datos mediante la distancia de Mahalanobis con la técnica de componentes principales, considerándose espectros atípicos aquellos que presentaron valor de raíz cúbica de Mahalanobis mayor o igual a 3; de ello 90 espectros fueron considerados como inliers; y 235 espectros outliers o atípicos y fueron depurados de la base de datos inicial (Aykas et al., 2020; Gallego et al., 2013; Leys et al., 2018 y Xiang et al., 2008).

2.3.2. Machine learning para construcción de un modelo de completo PLS-R (Regresión De Mínimos Cuadrados Parciales)

Para la construcción y validación del modelo se realizó la partición de la base de datos en forma aleatoria. El 70% de los espectros se emplearon para la calibración (63 espectros) y el 30% (27 espectros) para la validación externa (Benoudjit et al, 2004). Para corregir y minimizar la variabilidad de los espectros se utilizó la primera y segunda derivada de Savitzky-Golay de orden polinomial 2, ancho de ventana o filtro de 17 unidades. Para determinar un modelo que tenga la capacidad de generalización y para estimar el contenido de humedad de la harina de maíz amarillo “chochoca”, se utilizó el método PLS-R, el cual permitió encontrar una relación matemática lineal entre dos conjuntos de datos, X (espectros), Y (porcentajes de humedad). Para la calibración del modelo se empleó el algoritmo de Cross Validation Leave-One-Out (CV-LOO) (número de muestreo = 10%); para determinar el número óptimo de variables latentes (VL) se usó como indicador el menor valor de error cuadrático medio (ECM). El rendimiento y desempeño de los modelos de calibración fueron evaluados mediante el coeficiente de determinación de validación cruzada R^2_{CV} y error cuadrático medio para calibración en validación cruzada ECM_{CV} .

Se determinó la capacidad de generalización del modelo, para ello se evaluó el error cuadrático medio de validación externa (ECM_V) y coeficiente de determinación de validación externa (R^2_V); además de la relación de desviación de la predicción (RPD) cuyo valor debe ser mayor a 3 (Alfaro, 2016; Aykas et al., 2020; Killner et al., 2011; Pasquini & Bueno, 2007). Adicionalmente se construyó un modelo reducido a partir de los coeficientes de regresión de mayor importancia (en valor absoluto) del modelo completo inicial, pasando de 6057 intervalos de longitudes de onda a 815 intervalos. Para la analítica de datos se utilizó el software Python 3.7.1 con la plataforma de Google Colab. (Ciursă et. al., 2021).

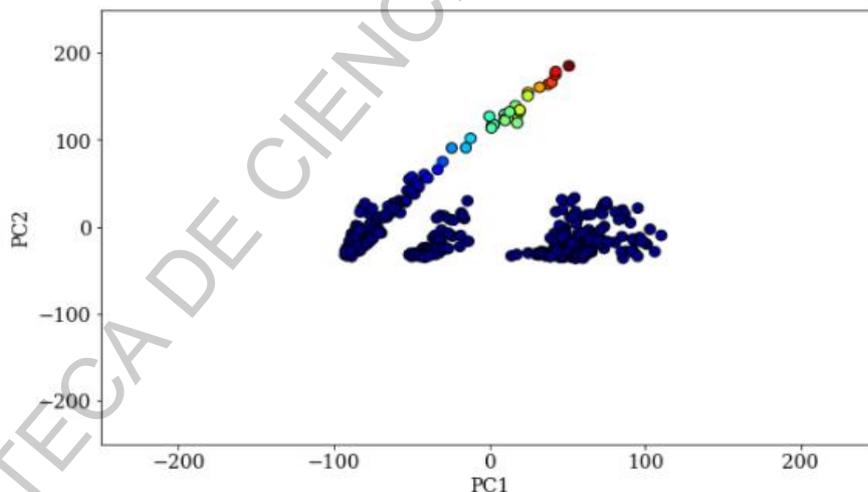
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Minería de datos para la identificación de espectros atípicos

Se identificaron espectros atípicos empleando la distancia de Mahalanobis como se observa en la Figura 2. La raíz cúbica de la distancia de Mahalanobis que fueron menor a 3, fueron considerados espectros típicos (inliers) y por el contrario la raíz cubica de la distancia de Mahalanobis cuyo valor fue mayor o igual a 3, fueron denominados espectros atípicos (outliers) y descartados para la construcción del modelo. Se obtuvieron en total, 325 espectros, los cuales el 27.69% se consideraron espectros inliers (tonalidad azul) y 72.31%, espectros outliers (tonalidad verde a roja).

Figura 2

Identificación de espectros atípicos empleando la distancia de Mahalanobis en la harina de maíz amarillo “chochoca”



Aykas et al. (2020) indican que la distancia de Mahalanobis (DM) es una longitud métrica estadística entre un determinado grupo de datos que clasifica y selecciona espectros, y además es un factor importante que determina el valor del coeficiente de determinación ($R^2 > 0.90$), en la construcción del modelo predictivo PLSR (Flórez-Valdez et al., 2020). El

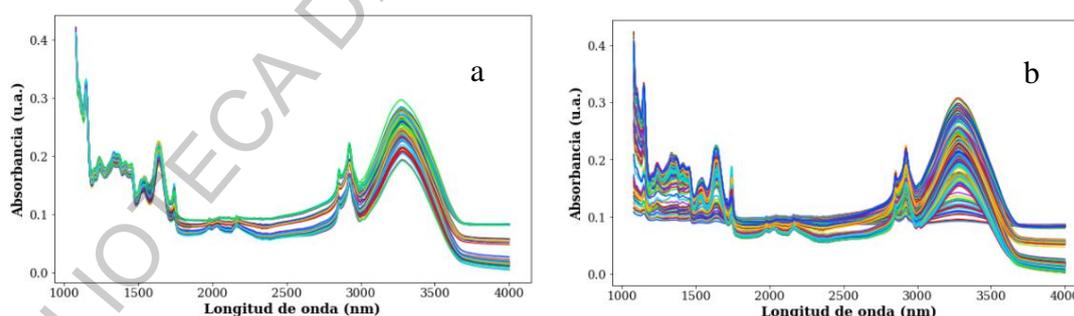
valor de DM puede variar según el criterio de cada investigador (Gallego et al., 2013 y Ghorbani, 2019).

Se identificó espectros outliers aplicando la distancia de Mahalanobis en la determinación de la concentración de tetraciclina en la leche de vaca cruda (Casarrubias-Torres et al., 2018) y cuantificación de adulterantes en el café (*Coffea arabica* L.) (Flores-Valdez et al., 2020).

Los espectros de las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca” presentaron el mismo comportamiento, es decir estuvieron superpuestos, en el rango de longitud de onda de 1080 a 4000 nm, se le denominó inliers, como se observa en la Figura 3a; estos espectros son considerados para la construcción del modelo de predicción. Sin embargo, los espectros que estuvieron separados entre ellos, presentando un comportamiento diferente, como se muestra en la Figura 3b, son considerados outliers; estos espectros son descartados para la construcción del modelo.

Figura 3

(a) Espectros inliers (b) Espectro outliers



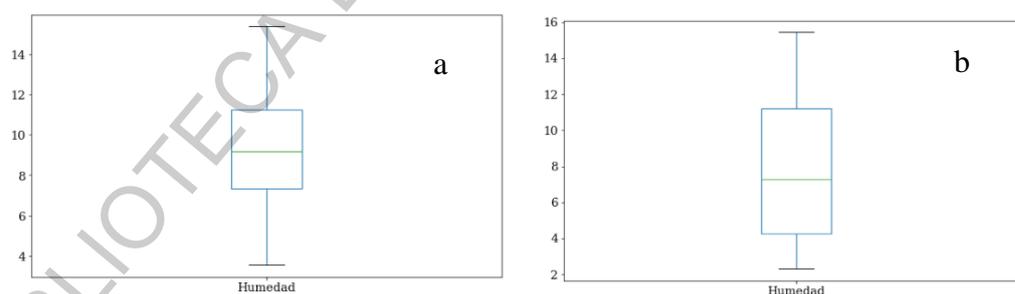
Estudios señalan que el diagrama de Boxplot permite observar cómo está distribuido los datos de humedad. La Figura 4a muestra que la línea central está muy cerca al centro del diagrama, representando que existe una distribución normal de los datos de los espectros

inliers. Los valores se encontraron entre 3.56% y 15.37%, con media de 9.13% y desviación estándar de 2.58%; además el valor de rango intercuartílico (del percentil 25 al 75) que contiene al 50% de los valores de la humedad cercanos a la mediana (9.19%) entre 7.32 y 11.24%. De igual modo, otras investigaciones señalan que la aplicación de un valor adecuado de la distancia de Mahalanobis en la evaluación de los espectros, se obtiene una distribución normal de los datos. Es por ello que se aplica diversos valores para la distancia, dependiendo de cada investigación (Galeano et al., 2015 y Ghorbani, 2019).

Por el contrario, en la Figura 4b se observa una asimetría para los espectros outliers, porque la línea central en el diagrama está ubicada en la parte inferior, señalando que existe una distribución no normal de los datos. Los valores de humedad se encontraron entre 2.32 y 15.43%, con media de 7.67% y desviación estándar de 3.65%; además de rango intercuartílico (del percentil 25 al 75) que contiene al 50% de los datos de humedad cercanos a la mediana (7.28%) entre 4.28 y 11.21%.

Figura 4

(a) Diagrama de Boxplot para datos de inliers (b) Diagrama de Boxplot para datos de outliers



Se reportó una distribución normal de los datos en el Boxplot, en la investigación del contenido de nitrato en vegetales de hoja verde como col china (*Brassica rapa subsp. chinensis*), espinaca (*Ipomoea aquatica Forssk*), apio (*Apium graveolens L.*) y lechuga (*Lactuca sativa L.*) (Ma et al., 2021). De la misma manera, en la predicción de ácidos grasos

de la composición de la leche; y en el monitoreo de procesos de digestión anaeróbica, ambos empleando el modelo PLSR mediante FTIR, (Rovere et al., 2021 y Zeaiter et al., 2022). Y en el estudio sobre la liberación de opsina en las neuronas corticales y aceleración del aprendizaje (Zhang et al., 2021).

3.2. Machine learning para construcción de un modelo de regresión completo empleando Regresión De Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-R)

Para la calibración del modelo completo se contó con 63 espectros, con rangos de humedad observada entre 3.56 y 15.37%; en la Tabla 1 se presenta el modelo generado con el preprocesamiento de la primera derivada de Savitzky-Golay, con número óptimo de variables latentes de 5, error cuadrático medio de validación cruzada (ECM_{VC}) de 0.545 y coeficiente de determinación de validación cruzada (R^2_{CV}) de 0.913; así mismo se presenta el modelo de la segunda derivada de Savitzky-Golay, con número óptimo de variables latentes de 5, error cuadrático medio de validación cruzada (ECM_{VC}) de 1.482 y coeficiente de determinación de validación cruzada (R^2_{CV}) de 0.764; por lo que se determinó trabajar con el modelo completo de la primera derivada de Savitzky-Golay por presentar menor ECM_{VC} y mayor R^2_{CV} .

La capacidad de generalización del modelo completo fue evaluada empleando los datos de validación externa conformada por 27 espectros con rango de humedad entre 5.17 y 14.66%, donde el error cuadrático medio de validación externa (ECM_V) fue de 0.347 y coeficiente de determinación de validación externa (R^2_V) fue de 0.951; además presentó la relación de desviación de la predicción (RPD) de 4.510. El valor RPD es igual a la relación entre la desviación estándar/validación cruzada y dicho valor debe ser superior a 3, para establecer exactitud de la capacidad de predicción del modelo (Bala et al., 2022; Molano et al., 2016 y Sen et al., 2021).

Tabla 1

Indicadores estadísticos del modelo completo de humedad para muestras de harina de maíz amarillo “chochoca”

Pre-procesamiento	Calibración					Validación externa				
	Rango de humedad (%)	Nº	Variable latente	ECM _{CV}	R ² _{CV}	Rango de humedad (%)	Nº	ECM _V	R ² _V	RPD
1 ^{ra} derivada de Savitzky-Golay	3.56 - 15.37	63	5	0.545	0.913	5.17 - 14.66	27	0.347	0.951	4.510
2 ^{da} derivada de Savitzky-Golay	3.56 - 15.37	63	5	1.482	0.764	--	--	--	--	--

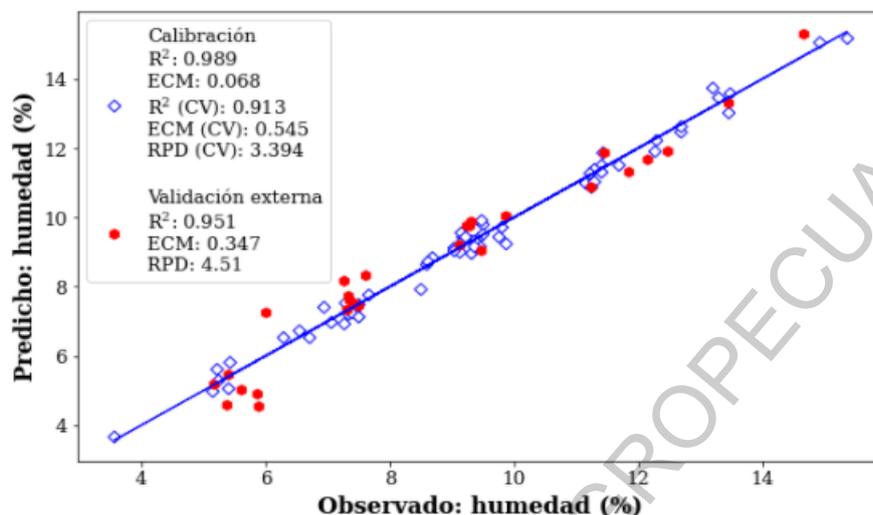
Nota: ECM_{CV} = Error cuadrático medio de validación cruzada; R²_{CV} = Coeficiente de determinación de validación cruzada; ECM_V = Error cuadrático medio de validación externa; R²_V = Coeficiente de determinación de validación externa; RPD = Relación de la desviación de predicción

El modelo de calibración generado se validó eligiendo un conjunto de muestras (30% del total de los espectros) que no se incluyeron en la muestra de calibración original. Este paso llamado validación externa fue de gran importancia para evaluar la solidez del modelo de calibración. Después de la evaluación de la calibración y validación externa, se observó que ECM_{CV}, 0.545, es ligeramente mayor a ECM_V, 0.347, esto indica que el modelo ha sido ajustado al máximo, permitiendo demostrar su eficiencia en la predicción (Jamwal et al, 2020 y Aykas et al., 2020).

La relación entre los resultados de la humedad observada y predicha se muestra en la Figura 5. Los valores de humedad de calibración son representados por los diamantes de color azul y los hexágonos rojos representan el conjunto de validación externa; además la humedad observada y predicha se encuentran cercanas a la línea azul que representa el modelo predictivo PLSR, demostrándose su capacidad de predicción.

Figura 5

Valores de humedad observados y predichos de las muestras de harina de maíz amarillo “chochoca”



En la validación externa, el coeficiente de determinación (R^2) debe ser superior a 0.90 y el valor de la relación de desviación de la predicción (RPD) mayor a 3, para demostrar la validación y exactitud de la predicción del modelo utilizando PLSR (Aykas et al., 2020; Jamwal et al, 2020 y Sen et al., 2021). La Figura 5 muestra el valor R^2 , 0.951 y RPD, 4.51. Por consiguiente, se logró demostrar capacidad predictiva para determinar humedad en muestras de harina.

Resultados similares se muestran para el análisis proximal de la pasta de tomate con valor R^2 , 0.99, para sólidos solubles y 0.97 para la glucosa; y valor RPD, 7.3 para sólidos solubles y 3.5 para glucosa. Con ello se demostró la validación y exactitud del modelo predictivo (Aykas et al., 2020).

Otra investigación también reportó un valor R^2 , 0.99 y RPD, 11.28, demostrando la validación del modelo cuando realizó el estudio de la adulteración del aceite de coco puro por aceite frito de otros productos (Jamwal et al., 2020).

También, se informó la validación del modelo en el análisis de humedad, glucosa, fructuosa y sacarosa en muestras de miel de abeja, porque obtuvo un valor de R^2 , 0.96 (Ciursă et al., 2021).

De igual modo, Aykas et al. (2020) demostraron la validación del modelo porque reportaron valores observados y predichos muy cercanos a la línea que representa el modelo como se observa en la Figura 5, para sólidos solubles, ácido cítrico y fructuosa en el análisis proximal de la pasta de tomate.

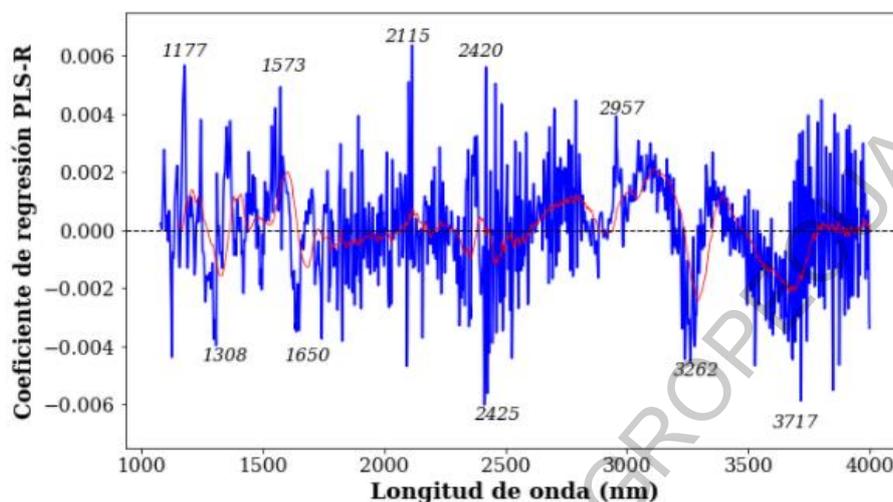
Se demostró la validación del modelo, porque obtuvieron un valor R^2 , 0.99, para los parámetros grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos; los valores de RPD entre 8.9 y 11.6; en el estudio de la adulteración, detección y evaluación de la calidad en leche de búfala y cabra (Sen et al., 2021).

Los coeficientes de regresión que permiten identificar los picos correspondientes a grupos funcionales, se encuentran entre las longitudes de onda de 1500 a 4000 como se observa en la Figura 6. Entre los rangos 1500 y 1800 de longitud de onda (nm), se identifican el pronunciamiento de los picos espectrales que corresponden a las moléculas de agua (Ciursă et al., 2021).

Mondragón (2020) explica que existe la vibración del enlace H-O-H; y la diferencia de intensidad en los picos espectrales correspondiente a la longitud de onda antes mencionada, se debe a la interacción electrostática entre el protón del hidrógeno y la región negativa del átomo de oxígeno, el cual presenta una fuerza de interacción relativamente alta (O---H), que se genera en forma instantánea lo que contribuye de manera notable al incremento del pico en el espectro al interactuar con la radiación infrarroja.

Figura 6

Modelo con coeficientes de regresión para estimar la cantidad de humedad en muestra de harina de maíz amarillo “chochoca”



Del mismo modo, entre los rangos 3000 y 3600 de longitud de onda (nm). Ciursă et al. (2021) y Aykas et al. (2020), también reportaron picos en los espectros de humedad dentro de este rango de longitud de onda, en muestras de miel de abeja y pasta de tomate, respectivamente. Mondragón (2020) indica que, en ese rango, existe la vibración del enlace O-H.; por lo cual hace un pico más ancho e intenso.

Del Anexo A al K se encuentran los gráficos que completan la construcción del modelo (reducido) que no se ha considerado en la investigación, porque presentó un menor valor de coeficiente R^2 .

IV. CONCLUSIONES

El presente estudio de investigación se evaluó la capacidad de predicción de la humedad empleando PLSR por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en harina maíz (*Zea mays* L.) amarillo “chochoca”. Se identificó picos correspondientes a grupos funcionales que representan el contenido de humedad en las curvas espectrales. Se resolvió trabajar con la primera derivada en la construcción del modelo PLSR, porque presentó el menor valor de error cuadrático medio (ECM_{CV} , 0.545) y mayor valor R^2_{CV} , 0.913. Los valores de R^2_V , 0.951 y RPD, 4.510 determinaron la exactitud de la capacidad de predicción de humedad en harina de maíz amarillo “chochoca”. Por consiguiente, este método rápido puede ser utilizado para obtener resultados en menor tiempo en el análisis de esta muestra.

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

V. RECOMENDACIONES

Para investigaciones que se desarrollen más adelante, se recomienda uniformizar el tamaño de partícula en harina de chochoca para evitar errores en la toma de datos de las curvas espectrales. Además, utilizar otras muestras de harina de diferentes regiones del país, para ampliar la base de datos de su composición, según su procedencia; desarrollando una producción de modelo. Con ello se obtendrá la información más completa y rápida de humedad de una muestra a través de un aplicativo de libre acceso.

Además, se recomienda para futuras investigaciones construir un equipo con sensores que puedan dar lectura a las curvas espectrales y a través de un software que este implementado al equipo se identifiquen los picos correspondientes a cada longitud de onda que va determinar el porcentaje de humedad.

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, J. (2016). El método NIR combinado con el análisis quimiométrico PLS-da para determinar la adulteración del aceite de oliva con aceite de girasol. *Pensamiento Actual*, 16(26), 163-172. <https://doi.org/10.15517/pa.v16i26.25764>

AOAC. (2005). *Association of Official Analytical Chemists*. Official Methods 925.10 (32.1.03) – Solids (total) and Moisture in Flour.

Aykas, D. P., Rodrigues Borba, K., & Rodriguez-Saona, L. E. (2020). Non-Destructive Quality Assessment of Tomato Paste by Using Portable Mid-Infrared Spectroscopy and Multivariate Analysis. *Foods*, 9(9), 1300. <https://doi.org/10.3390/foods9091300>

Aghababaei, A., Maftoonazad, N., Elhamirad, A., & Badii, F. (2017). Accelerated ageing of wheat grains: Part II-influence on thermal characteristics of wheat starch and FTIR spectroscopy of gluten. *Journal of cereal science*, 77, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.010>

Bala, M., Sethi, S., Sharma, S., Mridula, D., & Kaur, G. (2022). Non-destructive determination of grass pea and pea flour adulteration in chickpea flour using near-infrared reflectance spectroscopy and chemometrics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12223>

Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana Jr, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (Eds.). (2020). *Water activity in foods: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.

Benoudjit, N., Cools, E., Meurens, M., & Verleysen, M. (2004). Chemometric calibration of infrared spectrometers: selection and validation of variables by non-linear

models. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 70(1), 47-53.

<https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2003.10.008>

Casarrubias-Torres, L. M., Meza-Márquez, O. G., Osorio-Revilla, G., & Gallardo-Velázquez, T. (2018). Mid-infrared spectroscopy and multivariate analysis for determination of tetracycline residues in cow's milk. *Acta Veterinaria Brno*, 87(2), 181-188. <https://doi.org/10.2754/avb201887020181>

Ciursă, P., Pauliuc, D., Dranca, F., Ropciuc, S., & Oroian, M. (2021). Detection of honey adulterated with agave, corn, inverted sugar, maple and rice syrups using FTIR analysis. *Food Control*, 130, 108266. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108266>

Che Man, Y., & Mirghani, M. (2000). Rapid Method for Determining Moisture Content in Crude Palm Oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 77(6), 631-637. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0102-9>

Chinwan, D., & Castell-Perez, M. E. (2019). Effect of conditioner and moisture content on flowability of yellow cornmeal. *Food science & nutrition*, 7(10), 3261-3272. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1184>

Feng, L., Zhu, S., Chen, S., Bao, Y., & He, Y. (2019). Combining Fourier transform mid-infrared spectroscopy with chemometric methods to detect adulterations in milk powder. *Sensors*, 19(13), 2934. <https://doi.org/10.3390/s19132934>

Flores-Valdez, M., Meza-Márquez, O. G., Osorio-Revilla, G., & Gallardo-Velázquez, T. (2020). Identification and quantification of adulterants in coffee (*Coffea arabica* L.)

using FT-MIR spectroscopy coupled with chemometrics. *Foods*, 9(7), 851.

<https://doi.org/10.3390/foods9070851>

Galeano, P., Joseph, E., & Lillo, R. E. (2015). The Mahalanobis distance for functional data with applications to classification. *Technometrics*, 57(2), 281-291.

<https://doi.org/10.1080/00401706.2014.902774>

Gallego, G., Cuevas, C., Mohedano, R., & Garcia, N. (2013). On the Mahalanobis distance classification criterion for multidimensional normal distributions. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 61(17), 4387-4396.

<https://doi.org/10.1109/TSP.2013.2269047>

Genkawa, T., Ahamed, T., Noguchi, R., Takigawa, T., & Ozaki, Y. (2016). Simple and rapid determination of free fatty acids in brown rice by FTIR spectroscopy in conjunction with a second-derivative treatment. *Food Chemistry*, 191, 7-11.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.014>

Ghorbani, H. (2019). Mahalanobis distance and its application for detecting multivariate outliers. *Facta Univ Ser Math Inform*, 34(3), 583-95.

<https://doi.org/10.22190/FUMI1903583G>

González-Muñoz, A., Montero, B., Enrione, J., & Matiacevich, S. (2016). Rapid prediction of moisture content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flour by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, 71, 246-249.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.006>

Greenspan, L. (1977). Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of research of the National Bureau of Standards. Section A, Physics and chemistry*, 81(1), 89. <https://doi.org/10.6028/jres.081A.011>

Jamwal, R., Kumari, S., Kelly, S., Cannavan, A., & Singh, D. (2020). Rapid detection of pure coconut oil adulteration with fried coconut oil using ATR-FTIR spectroscopy coupled with multivariate regression modelling. *LWT*, *125*, 109250. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109250>

Killner, M., Rohwedder, J., & Pasquini, C. (2011). A PLS regression model using NIR spectroscopy for on-line monitoring of the biodiesel production reaction. *Fuel*, *90*(11), 3268-3273. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.06.025>

Leys, C., Klein, O., Dominicy, Y., & Ley, C. (2018). Detecting multivariate outliers: Use a robust variant of the Mahalanobis distance. *Journal of experimental social psychology*, *74*, 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2017.09.011>

Ma, F., Du, C., Zheng, S., & Du, Y. (2021). In Situ Monitoring of Nitrate Content in Leafy Vegetables Using Attenuated Total Reflectance– Fourier-Transform Mid-infrared Spectroscopy Coupled with Machine Learning Algorithm. *Food Analytical Methods*, *14*(11), 2237-2248. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02048-7>

MIDAGRI. 2022. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

<https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-anuales/4-agricola>

Molano, M., Cortés, M., Ávila, P., Martens, S., & Muñoz, L. (2016). Near infrared spectroscopy (NIRS) calibration equations to predict nutritional quality parameters of tropical forages. *Tropical Grasslands-Forrajeras Tropicales*, *4*(3), 139-145. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(4\)139-145](https://doi.org/10.17138/TGFT(4)139-145)

Mondragón, P. (2020). Principios y aplicaciones de la espectrofotometría infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas. <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/720/1/Infrarrojo%20Cap%201.pdf>

- Nesakumar, N., Baskar, C., & Kesavan, S. (2018). Analysis of Moisture Content in Beetroot using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and by Principal Component Analysis. *Scientific Reports*, 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26243-5>
- Pasquini, C., & Bueno, A. F. (2007). Characterization of petroleum using near-infrared spectroscopy: Quantitative modeling for the true boiling point curve and specific gravity. *Fuel*, 86(12-13), 1927-1934. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.026>
- Rovere, G., De Los Campos, G., Lock, A. L., Worden, L., Vazquez, A. I., Lee, K., & Tempelman, R. J. (2021). Prediction of fatty acid composition using milk spectral data and its associations with various mid-infrared spectral regions in Michigan Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 104(10), 11242-11258. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20267>
- Salvador-Reyes, R., & Clerici, M. T. P. S. (2020). Peruvian Andean maize: General characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. *Food Research International*, 130, 108934.
- Sen, S., Dundar, Z., Uncu, O., & Ozen, B. (2021). Potential of Fourier-transform infrared spectroscopy in adulteration detection and quality assessment in buffalo and goat milks. *Microchemical Journal*, 166, 106207. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106207>
- Windarsih, A., Rohman, A., & Riyanto, S. (2021). The combination of vibrational spectroscopy and chemometrics for analysis of milk products adulteration. *International Journal of Food Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8853358>

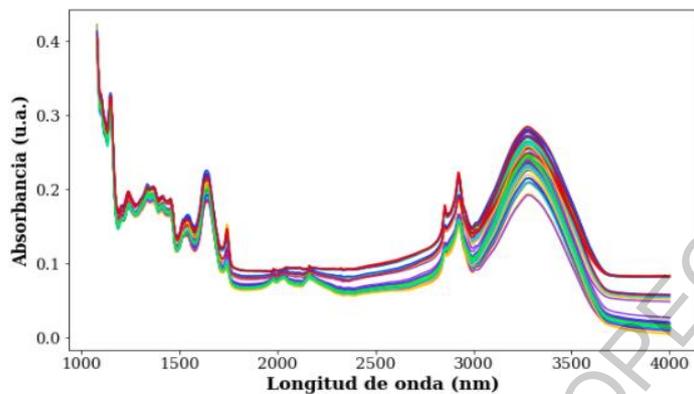
- Xiang, S., Nie, F., & Zhang, C. (2008). Learning a Mahalanobis distance metric for data clustering and classification. *Pattern recognition*, 41(12), 3600-3612. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2008.05.018>
- Zara, J., Yegres, F., Vargas, N., Cubillan, L., Navas, P., & Márquez-Riquel, M. (2017). Empleo de la Espectroscopia Infrarroja (FT-IR-ATR) como herramienta para la Caracterización del bagazo de caña proveniente de la Sierra Falconiana. *Química Viva*, 16(3), 17-24. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86354619003.pdf>
- Zeaiter, M., Latrille, É., Gras, P., Steyer, J. P., Bellon-Maurel, V., & Roger, J. M. (2022). Improvements in the Robustness of Mid-Infrared Spectroscopy Models against Chemical Interferences: Application to Monitoring of Anaerobic Digestion Processes. *AppliedChem*, 2(2), 117-127. <https://doi.org/10.3390/appliedchem2020008>
- Zevallos, A., & Chávarri, L. (2006). Características Fisicoquímicas y Comportamiento Reológico de Harinas Precocidas de Maíz Amiláceo (*Zea mays* L.) Blanco y Amarillo. *PUEBLO CONTINENTE*, 17(1), 11-16.
- Zhang, J., He, Y., Liang, S., Liao, X., Li, T., Qiao, Z., ... & Chen, X. (2021). Non-invasive, opsin-free mid-infrared modulation activates cortical neurons and accelerates associative learning. *Nature communications*, 12(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23025-y>

ANEXOS

BIBLIOTECA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

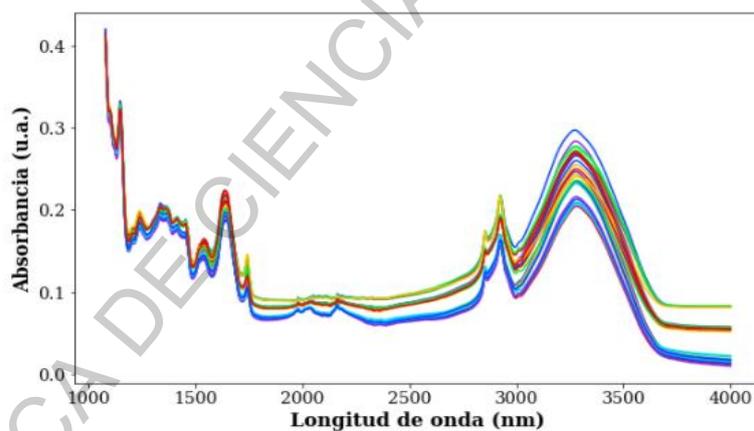
Anexo A

Espectros de calibración para muestras de chochoca



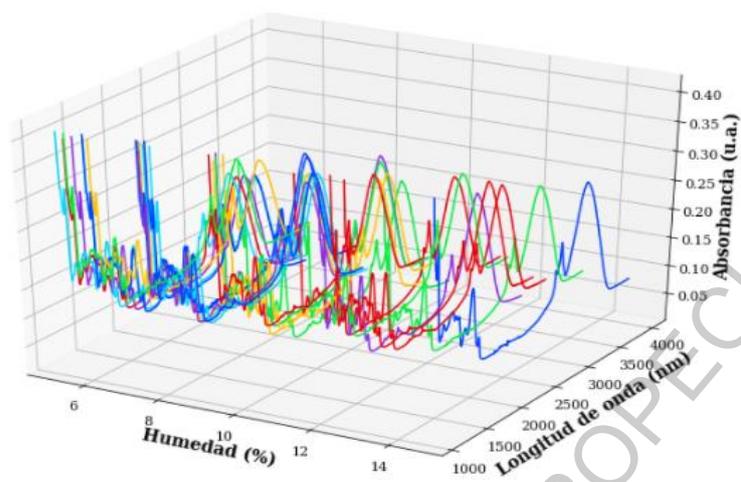
Anexo B

Espectros de validación externa para muestras de chochoca



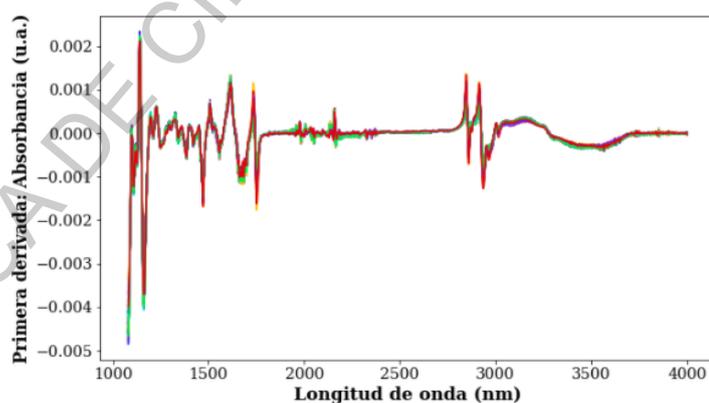
Anexo C

Humedad por el método espectral y gravimétrico para muestras de chochoca



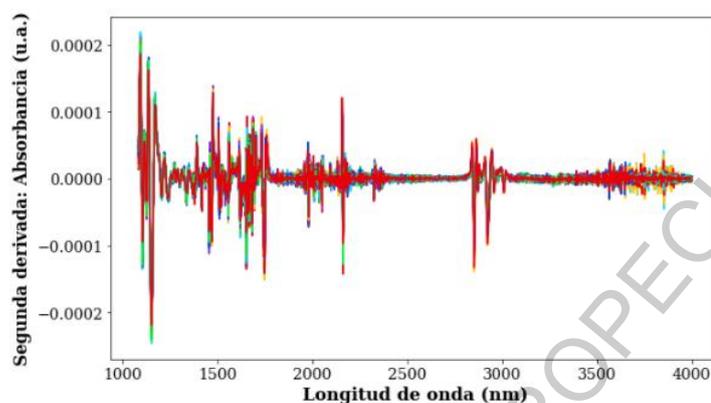
Anexo D

Primera derivada de Savitzky-Golay aplicada a la humedad espectral del Modelo completo en muestras de harina de chochoca



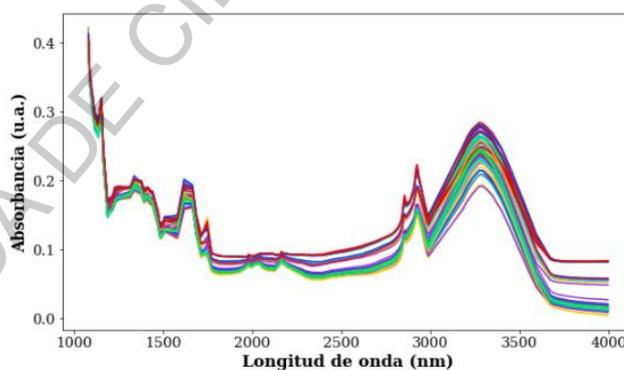
Anexo E

Segunda derivada de Savitzky-Golay aplicada a la humedad espectral del Modelo completo en muestras de harina de chochoca



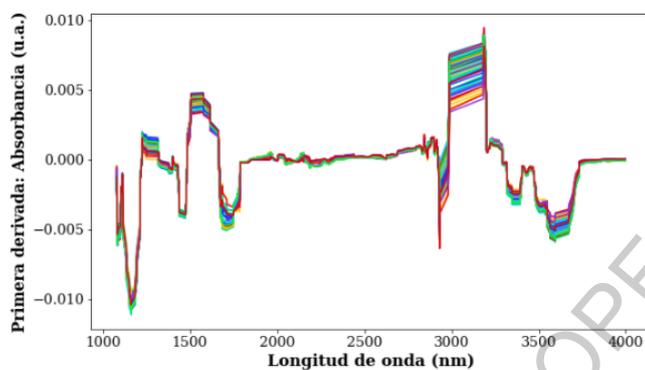
Anexo F

Espectros reducidos para la determinación de humedad por PLS-R para muestras de chochoca



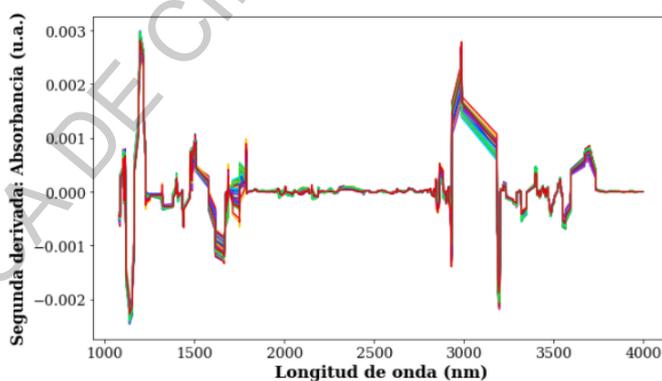
Anexo G

Pre-procesamiento con la primera derivada de Savitzky-Golay del Modelo reducido en muestras de chochoca



Anexo H

Pre-procesamiento con la segunda derivada de Savitzky-Golay del Modelo reducido en muestras de chochoca



Anexo I

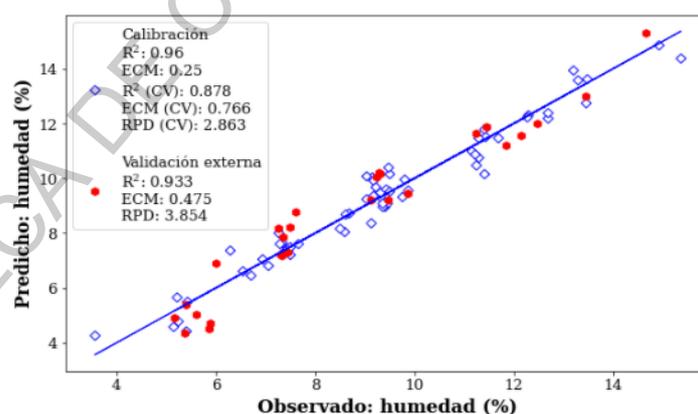
Indicadores estadísticos del modelo reducido de humedad para muestras de harina de maíz amarillo “chochoca”

Pre-procesamiento	Calibración					Validación				
	Rango de humedad (%)	N°	Variable latente	ECM _{CV}	R ² _{CV}	Rango de humedad (%)	N°	ECM _v	R ² _v	RPD
1 ^{ra} derivada de Savitzky-Golay	3.56 - 15.37	63	7	0.766	0.878	5.17 - 14.66	27	0.475	0.933	3.854
2 ^{da} derivada de Savitzky-Golay	3.56 - 15.37	63	4	0.951	0.849	--	--	--	--	--

Nota: ECM_{CV} = Error cuadrático medio de validación cruzada; R²_{CV} = Coeficiente de determinación de validación cruzada; ECM_v = Error cuadrático medio de validación externa; R²_v = Coeficiente de determinación de validación externa; RPD = Relación de la desviación de predicción

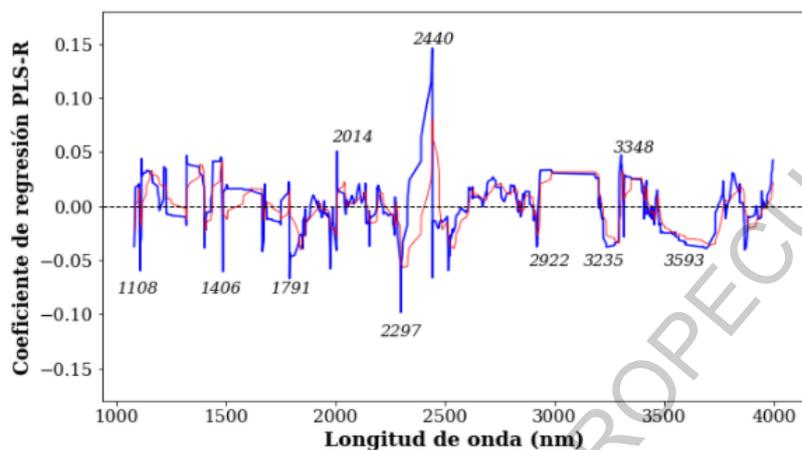
Anexo J

Valores observados y predichos de humedad del Modelo reducido (PLS-R) en muestras de harina de chochoca



Anexo K

Modelo con coeficientes de regresión del modelo reducido (PLSR) en harina de maíz amarillo “chochoca”

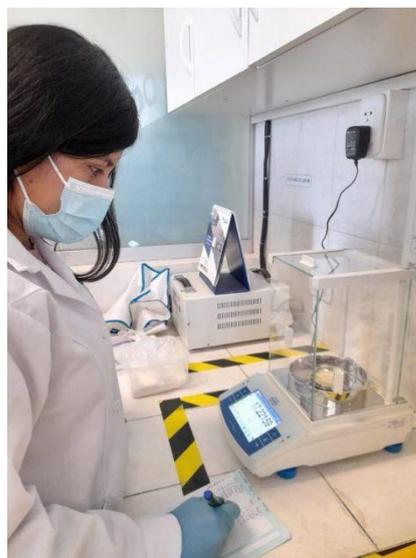


Anexo L

Imágenes de experiencia experimental



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

(a) Tamizando la harina de chochoca (b) Pesando las muestras de harina en la balanza analítica (c) Colocando las muestras de harina para determinar su humedad gravimétrica por la estufa (d) Acondicionando las muestras de harina a diferentes niveles de humedad: (HR 0%), NaOH (13 molal, HR 33%); NaOH (9 molal, HR 55%), NaOH (5.5 molal, HR 76%) y NaOH (3.5 molal, HR 86%) (e) Determinando la curva espectral de las muestras de harina de chochoca, previamente acondicionadas, en el espectrómetro infrarrojo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
UNT

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

DECLARACIÓN JURADA

Los AUTORES suscritos en el presente documento DECLARAMOS BAJO JURAMENTO que somos los responsables legales de la calidad y originalidad del contenido del Proyecto de Investigación Científica, así como, del Informe de la Investigación Científica realizado.

TITULO:

Capacidad de predicción de la humedad por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz (*Zea mays L.*) amarillo "chochoca"

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

PROY DE TRABAJO DE INVESTIGACION (PREGRADO)	()	TRABAJO DE INVESTIGACION (PREGRADO)	()
PROYECTO DE TESIS PREGRADO	()	TESIS PREGRADO	(X)
PROYECTO DE TESIS MAESTRIA	()	TESIS MAESTRIA	()
PROYECTO DE TESIS DOCTORADO	()	TESIS DOCTORADO	()

Equipo Investigador Integrado por:

Nº	Apellidos y Nombres	Facultad	Departamento Académico	Categoría Docente Asesor	Código Docente Asesor Número Matrícula del Estudiante	Autor Coautor asesor
01	Verde Espinoza, Leydi Laura	Ciencias Agropecuarias	Ciencias Agroindustriales	----	1022400315	Autor
02	Barraza Jauregui, Gabriela del Carmen	Ciencias Agropecuarias	Ciencias Agroindustriales	Asociado	5577	Asesora
03						

Trujillo, 24 de enero de 2023


VERDE ESPINOZA, LEYDI LAURA

75602834
DNI DEL TESISISTA


MSc. BARRAZA JAUREGUI, GABRIELA DEL CARMEN

08715119
DNI DEL ASESOR

Este formato debe ser llenado, firmado, adjuntado al final del documento del PIC, del Informe de Tesis, Trabajo de Investigación respectivamente.

Av. Juan Pablo II S/N – Trujillo – Perú.

e-mail: agroindustrial@unitru.edu.pe
www.unitru.edu.pe



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACION EN REPOSITORIO DIGITAL RENATI-SUNEDU

Trujillo, 24 de enero de 2023

Los autores suscritos del INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA

Titulado:

Capacidad de predicción de la humedad por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz (*Zea mays* L.) amarillo "chochoca"

AUTORIZAMOS SU PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL, REPOSITORIO RENATI-SUNEDU, ALICIA-CONCYTEC, CON EL SIGUIENTE TIPO DE ACCESO:

- A. Acceso Abierto:
 B. Acceso Restringido
 C. No autorizo su Publicación

(datos del autor y resumen del trabajo)

Si eligió la opción restringido o NO autoriza su publicación sírvase justificar _____

ESTUDIANTES DE PREGRADO:
 ESTUDIANTES DE POSTGRADO:
 DOCENTES:

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
 TESIS MAESTRIA
 INFORME DE INVESTIGACION

TESIS
 TESIS DOCTORADO
 OTROS

El equipo investigador Integrado por:

Nº	Apellidos y Nombres	Facultad	CONDICIÓN (NOMBRADO, CONTRATADO, EMERITO, estudiante, OTROS)	Código Docente Número Matricula del Estudiante	Autor Coautor asesor
01	Verde Espinoza, Leydi Laura	Ciencias Agropecuarias	---	1022400315	Autor
02	Barraza Jauregui, Gabriela del Camen	Ciencias Agropecuarias	Nombrado	5577	Asesora
03					

VERDE ESPINOZA, LEYDI LAURA

75602834
 DNI DEL TESISISTA

MSc. BARRAZA JAUREGUI, GABRIELA DEL CARMEN

08715119
 DNI DEL ASESOR

*Este formato debe ser llenado, firmado y adjuntado en el Informe de Tesis y/o Trabajo de Investigación respectivamente *Este formato en el caso de Informe de investigación científica docente debe ser llenado, firmado, escaneado y adjuntado en el sistema de www.picfedu.unitru.edu.pe

Av. Juan Pablo II S/N – Trujillo – Perú.

e-mail: agroindustrial@unitru.edu.pe
www.unitru.edu.pe



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ DE ÉTICA EN
INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD – CON DEPÓSITO

N° 0033-2023-FAC.CC.AGROP-UNT

1. Investigador: **VERDE ESPINOZA, LEYDI LAURA.**

DNI: **75602834**

Código: N° **1022400315**

2. Asesor: **MSc. Barraza Jáuregui, Gabriela del Carmen.**

3. Tipo de investigación: **BÁSICA**

4. Título de Trabajo de Investigación:

Capacidad de predicción de la humedad por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en harina de maíz (Zea mays L.) amarillo “chochoca”

5. Fecha de evaluación: **02 de junio de 2023**

6. Software antiplagio: **TURNITIN**

7. Porcentaje de similitud permitido en el informe de originalidad: hasta el 20 %

Porcentaje de similitud obtenido	Resultado de evaluación
13 %	APROBADO

Trujillo, 13 de junio de 2023



M. Sc. CESAR EDUARDO HONORIO JAVES
Presidente de Comité de Ética en Investigación
Facultad de Ciencias Agropecuarias

C.c. Archivo
CEH/UBNA