

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**“ORIGEN GEOGRÁFICO, NIVEL DE PROCESADO Y PERFIL NIR DEL
CAFÉ VARIEDAD TYPICA”**

T E S I S

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentado por la Bachiller:
SONIA MARDELY HUACCHA COTRINA**

**Asesor:
Dr. EDIN ALVA PLASENCIA**

CAJAMARCA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veinticuatro días del mes de febrero del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente **2H - 204** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 056-2023-FCA-UNC, de fecha 16 de enero del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**ORIGEN GEOGRÁFICO, NIVEL DE PROCESADO Y PERFIL NIR DEL CAFÉ VARIEDAD TYPICA**", realizada por la Bachiller **SONIA MARDELY HUACCHA COTRINA** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las ocho horas y veinte minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las nueve horas y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. Wilfredo Poma Rojas
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Jimmy Frank Oblitas Cruz
VOCAL

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
ASESOR

DEDICATORIA

Con mucho amor para mi madre Doraliza Cotrina, que está en el cielo y es mi ángel guardián porque siempre está conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida guiándome por el camino del bien y ayudándome a cumplir todos mis objetivos y metas.

A mi padre Gilberto Huaccha, por su infinito amor, comprensión y apoyo incondicional en todos los días de mi vida.

A mi tía Victoria Huaccha, por ser mi segunda madre, cuidarme y apoyarme siempre.

A mis abuelitos y tías que me demuestran su cariño y apoyo siempre.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por cuidarme y protegerme en cada momento de mi vida, por permitir y ayudarme a cumplir mis objetivos, por su infinito amor y todas las bendiciones que me ha dado siempre.

A mi padre por su apoyo incondicional.

A mi segunda madre por su cariño y apoyo que me brinda.

A mi tía Gladys por apoyarme cuando más necesito y ser mi ejemplo a seguir.

A mi tía Jhannet y abuelita Edelmira que siempre se preocupan por mí, me brindan su cariño y apoyo.

A cada uno de mis familiares que no he mencionado, pero me han apoyado de una u otra manera durante mi formación profesional.

Al Ing. Mg.Cs. Jimmy Oblitas por brindarme sus conocimientos profesionales, orientación, la guía y el asesoramiento durante la elaboración de esta investigación.

A todas las personas que me han ayudado, muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPITULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de la Investigación	2
1.2 Formulación Del Problema	3
1.3 Objetivo de la Investigación	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
CAPITULO II.....	5
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	5
2.2 Bases Teóricas	6
2.2.1 Descripción del café	6
2.2.2 Cultivo de café.....	7
2.2.3 Morfología del cultivo	8

2.2.4	Variedades de Café.....	10
2.2.5	Nivel de Procesado del Café.....	14
2.2.6	Generalidades de NIRS	21
2.2.7	NIR (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano).....	23
2.3	Definición de Términos Básicos.....	24
2.3.1	Origen Geográfico	24
2.3.2	Proceso	24
2.3.3	Café.....	24
2.3.4	NIRS (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano).....	25
CAPITULO III		26
3	MARCO METODOLÓGICO	26
3.1	MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1.1	Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	26
3.1.2	Materiales	26
3.1.3	Otros Materiales	26
3.1.4	Metodología.....	27
3.2	Tipo de Investigación.....	30
3.2.1	Unidad de análisis, población y muestra de estudio.....	30
3.3	Técnicas de procesamiento y análisis de información.....	32
CAPÍTULO IV.....		34
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES	34
4.1	Obtención de las muestras de café de las provincias de Jaén y San Ignacio departamento de Cajamarca.....	34

4.2	Determinar los perfiles espectrales de las muestras previamente obtenidas.....	40
4.3	Establecer estadísticamente la diferencia entre los perfiles espectrales en sus diferentes bandas.	42
CAPÍTULO V.		51
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
CAPÍTULO VI.		53
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Normas CATIE/IICA).....	53
CAPÍTULO VII.....		57
7	ANEXO O APENDICE	57
7.1	ANEXO 1. Fotografías del proceso de investigación.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición nutricional del café grano sin tostar	20
Tabla 2 Origen de las muestras	32
Tabla 3. Clasificación de Muestras	42
Tabla 4. ANOVA	45
Tabla 5. Prueba de Múltiples rangos de Tukey	46
Tabla 6. Niveles de accuracy (precisión) de entrenamiento.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de Café.....	7
Figura 2. Morfología del café	10
Figura 3. Variedades de Café	11
Figura 4. Café Variedad Typica.....	12
Figura 5. Proceso de obtención del café.....	14
Figura 6. Secado del Café	16
Figura 7. Lavado del café.....	18
Figura 8. Cafeína en el café.....	21
Figura 9. Espectro Electromagnético.....	22
Figura 10 Mapa de las provincias donde se obtuvieron las muestras de café.....	31
Figura 11 Ubicación Geográfica de la provincia de Jaén	34
Figura 12. Ubicación Geográfica de la provincia de San Ignacio	35
Figura 13. Variedad Typica.....	36
Figura 14. Proceso de secado	37
Figura 15. Muestra de café typica de la provincia de Jaén- Cajamarca	38
Figura 16. Muestra de café typica de la provincia de San Ignacio – Cajamarca	38
Figura 17 Pilado de Café.....	39
Figura 18 Muestras de café sin cascara	39
Figura 19. Equipo NIR.....	40
Figura 20. Pesado de muestras	41
Figura 21. Resultados de las muestras de café.....	42
Figura 22. Espectros NIRS de las muestras de café	44

Figura 23. Diagrama de caja y Bigote de reflectancias	47
Figura 24. Matriz de confusión	49
Figura 25. Diagrama de dispersión de las clases de café.....	50

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar si existe relación entre el origen geográfico, nivel de procesado y perfil NIR (Espectroscopia del Infrarrojo Cercano) del café variedad Typica, la parte experimental de la investigación se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ubicada en la ciudad de Chachapoyas. Para realizar esta investigación se utilizó cuatro muestras de café variedad typica con cáscara y sin cáscara de las regiones de Jaén y San Ignacio, departamentos de Cajamarca ; luego de obtener las muestras café sin tostar con cáscara se realizó el proceso de pilado manualmente con la finalidad de sacar el pergamino, después cada muestra de 500g de café se dividieron en 20 submuestras que pesaban entre 70 y 75g, en total se obtuvieron 80 submuestras, para poder realizar la medición de los espectros de absorbancia de cada submuestras se realizó usando un espectrómetro infrarrojo cercano Unity Scientific NIRS (SpectraStar 2500XL, EE.UU.) equipada con lámpara halógena de tungsteno como fuente de luz y detector InGaAs (Indio – Galio – Arsénico) en el rango de 1100 y 2500 nm, con una resolución de 1 nm. , en un tiempo de 30 minutos por cada muestra. Luego de obtener los resultados se determinó si existe diferencia estadística significativa en los perfiles de cada una de las muestras, para ello se analizó por medio de un sistema de comparación multivariado múltiple, además en la gráfica de caja y bigote se observa que si existe una distribución normal a pesar que existen datos muy cercanos, el análisis estadístico nos muestra que son significativamente diferentes, después se obtuvo la matriz de confusión nos ayudó a mostrar la clasificación de las cuatro clases de café respectivamente. En la clase uno (typica con cáscara-Jaén) se pudo clasificar en un 95%, en la clase dos (typica con cáscara-San Ignacio) se observa que se logró clasificar en un 95%, en la clase tres (Typica sin cáscara-Jaén) se clasificó en un 80% y la clase cuatro (Typica sin cáscara-San Ignacio) se clasificó en un 90%.

Finalmente se obtuvo el diagrama de dispersión bidimensional de las cuatro clases de café, donde se observó que las muestras se encuentran dispersas y si se pueden diferenciar cada una de acuerdo a la relación que tienen entre origen geográfico y café typica con cáscara y sin cáscara, lo que indica que el método de espectroscopia del infrarrojo cercano nos ayudó a clasificar las muestras de café respectivamente de manera rápida y sencilla.

Palabras Claves: Café, perfil NIR (Espectroscopia del Infrarrojo Cercano), espectros de absorbancia, desviación estándar, variedad, origen geográfico.

ABSTRACT

The present investigation had as general objective to determine if there is a relationship between the geographical origin, level of processing and NIR profile (Near Infrared Spectroscopy) of the coffee variety Typica, the experimental part of the investigation was carried out in the laboratory of the Toribio Rodríguez National University from Mendoza de Amazonas, located in the city of Chachapoyas. To carry out this research, four samples of typical coffee variety with shell and without shell from the regions of Jaén and San Ignacio, departments of Cajamarca were used; After obtaining the unroasted coffee samples with the shell, the stacking process was carried out manually in order to remove the parchment, then each 500g coffee sample was divided into 20 subsamples that weighed between 70 and 75g, in total 80 subsamples were obtained. , in order to measure the absorbance spectra of each subsample, it was performed using a Unity Scientific NIRS near-infrared spectrometer (SpectraStar 2500XL, USA) equipped with a tungsten halogen lamp as a light source and an InGaAs (Indium-Gallium) detector. – Arsenic) in the range of 1100 and 2500 nm, with a resolution of 1 nm. , in a time of 30 minutes for each sample. After obtaining the results, it was determined if there is a statistically significant difference in the profiles of each of the samples, for which it was analyzed by means of a multiple multivariate comparison system, in addition to the box and whisker graph it is observed that if there is a normal distribution despite the fact that there are very close data, the statistical analysis shows us that they are significantly different, after the confusion matrix was obtained, it helped us to show the classification of the four kinds of coffee respectively. In class one (typica with shell-Jaén) 95% could be classified, in class two (typica with shell-San Ignacio) it is observed that 95% was classified, in class three (Typica without shell -Jaén) was classified in 80% and class four (Typica without shell-San Ignacio) was classified in 90%.

Finally, the two-dimensional dispersion diagram of the four kinds of coffee was obtained, where it was observed that the samples are dispersed and if each one can be differentiated according to the relationship between geographical origin and typical coffee with shell and without shell, indicating that the near-infrared spectroscopy method helped us classify the coffee samples respectively quickly and easily.

Keywords: Coffee, NIR (Near Infrared Spectroscopy) profile, absorbance spectra, standard deviation, variety, geographic origin.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Las propiedades sensoriales del café, una de las bebidas más populares del mundo se ven profundamente afectadas por la composición química de los granos de café crudo que, a su vez, está muy relacionada con sus regiones geográficas de cultivo. Las plantaciones de café se encuentran principalmente en la latitud entre 20°N y 20°S, una banda geográfica que rodea el mundo y que se conoce comúnmente como “cinturón cafetero”. Esta banda abarca regiones aproximadamente delimitadas por los trópicos de Cáncer y Capricornio, que ofrecen condiciones climáticas óptimas para el cultivo de plantas de café. Sin embargo, se encuentra una gran variación en la calidad, el sabor y el cuerpo del café dentro de estas regiones del mundo. (Giraud, Grassi, & Savorani, 2019)

En el Perú, la caficultura tiene importancia económica, social y ambiental y se desarrolla en 11 regiones, contando con alrededor de 425 mil hectáreas sembradas. Se estima que unas 223 mil familias se dedican a la siembra de café y otros dos millones de personas están incluidas en la cadena de producción de este grano, la producción de este grano aromático, se ha basado en el uso de algunas pocas variedades como Typica, Caturra y, en menor escala, en Pache, Mundo Novo, Bourbon, y más recientemente, Catimor. Para ampliar la gama de variedades comerciales que el caficultor peruano pueda usar; es necesario el conocimiento adecuado de estas (Hidalgo, 2017).

Entre las propiedades más valoradas se encuentran las cualidades organolépticas o sensoriales del café comprenden el aroma, la acidez, el amargor, el cuerpo, el sabor y la impresión global de la bebida. Por su intensidad y balance se mide la calidad del café. El sabor y aromas particulares de la bebida de café son el resultado de alrededor de mil sustancias químicas que se origina en la semilla de café y se preparan para la apreciación sensorial en el momento del consumo de dicho grano (Suhandy y Yulia, 2018).

Debido a la gran variedad de los productos que se encuentran en bloque y se llevan a diferentes procesos se hace necesario el uso de estrategias de optimización en la aplicación de análisis a fin de verificar las características de la materia prima (Acierno, Alewijn, Zomer, & van Ruth, 2018)

En la actualidad existe la técnica de espectroscopia visible e infrarrojo cercano (Vis-NIR) que es ampliamente utilizado para el análisis rápido, de bajo costo y no destructivo de discriminación de variedades y propiedades internas tales como sensoriales, organolépticas contenido de agua, el pH y la firmeza de las frutas(Cao, Wu, y He, 2010).

La técnica NIRS ofrece una serie de ventajas importantes sobre los métodos químicos tradicionales, ya que es un método físico, no destructivo y requiere una preparación de muestra mínima o nula (Casale, 2010).

Además, es una técnica moderna de análisis NIR- espectroscopia que permite analizar los datos espectrales en todas las bandas de onda múltiple y longitudes de onda cualitativa y cuantitativamente (He, Li, y Deng, 2007).

La mayoría de los métodos espectroscópicos utilizados hasta ahora para la autenticación de alimentos se basan en infrarrojo cercano (NIR), infrarrojo medio (MIR), transformada de Fourier Resonancia magnética infrarroja (FTIR), Raman o nuclear (RMN) Espectroscopia, o en imagen hiperespectrales (Esteki, Shahsavari, y Simal-Gandara, 2018).

En la técnica de NIR el espectro vibracional de una molécula se considera una propiedad física única y por tanto característica de esta molécula. Así, entre otras aplicaciones, el espectro IR se puede usar como “huella dactilar” en la identificación de muestras de lotes de café mediante la comparación con espectros de referencia (Suhandy y Yulia, 2018).

Debido a lo expuesto anteriormente el planteamiento del trabajo de esta investigación tiene como objetivo determinar si existe relación entre el origen geográfico, nivel de procesado en el perfil de Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR) del café variedad típica.

1.1 Problema de la Investigación

El mercado internacional del café ha cambiado dramáticamente en los últimos años, pues aumentó la producción potencial de los países productores con un lento crecimiento en el consumo de la bebida per cápita. Igualmente emergieron mezclas que utilizan cafés de menos calidad, existe una mayor concentración en el final de la cadena productiva y surgieron nuevos nichos de mercado, como los

café especiales en sus distintas formas, que valoran de manera particular ciertas características del producto. El sabor agradable y gusto de café, y su alta concentración de cafeína, hacen que sea una de las bebidas más populares en todo el mundo. por lo general los productores de café industriales, de café tostado con adulterantes de menor precio, como los cereales, las ramitas de café, el café y el azúcar moreno, el cual tiene un impacto directo en la calidad de la bebida de café (especialmente sus propiedades sensoriales y potencial aromático)(Calvini, Amigo, y Ulrici, 2015).

Debido a los cambios que se han dado en los últimos años han surgido métodos espectroscópicos como técnicas de gran alcance en la prestación de valiosa información estructural para evaluar la adulteración y la autenticidad del café. En busca de la mejora de los procesos se realizó las pruebas experimentales mediante la espectroscopia infrarroja FTIR;el espectro IR se puede usar como “huella dactilar” en la identificación de muestras de lotes de café mediante la comparación con espectros de referencia (Esteki, 2018).

Además, la aplicación NIR en el campo cafetero exige el desarrollo de dispositivos simplificados reduciendo los costos en términos de dinero y tiempo, pero conduciendo a resultados de alta calidad (Giraud, Grassi, & Savorani, 2019).

1.2 Formulación Del Problema

¿Existe relación entre el origen geográfico, nivel de procesado en el perfil NIR de café variedad typica?

1.3 Objetivo de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar si existe relación entre el origen geográfico, nivel de procesado en el perfil NIR del café variedad typica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los perfiles espectrales de las muestras previamente obtenidas.
- Determinar estadísticamente la diferencia entre los perfiles espectrales en sus diferentes bandas.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de la Investigación

Cozzolino (2008) realizó un estudio sobre; “Uso de la espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano en análisis de alimentos”, donde comprobó que la aplicación del NIRS permite a la industria y a los laboratorios de evaluación de alimentos analizar en pocos segundos distintos parámetros de calidad, en su estudio analizo PC, FDA y cenizas donde obtuvieron buenas calibraciones, además se realizó análisis cualitativos y cuantitativos en el mismo momento sobre la muestra.

Peña (2012) en su investigación sobre; “Aplicación de la Técnica de Espectroscopia de Infrarrojo Cercano- NIRS (Near InfraRed Spectroscopy)”, obtuvo que el centro de investigaciones de la Federación -Cenicafé- comenzó a crear desde el año 2004 una base de datos de espectros de café colombiano de todas las regiones del país. Desde el año 2006, la recolección y análisis de los diferentes orígenes se ha realizado con la financiación y cooperación del Banco Interamericano de Desarrollo, con recursos de FOMIN -Fondo Multilateral de Inversiones - que apoya proyectos innovadores. La utilización de este nuevo protocolo, que se desarrolló empleando la técnica de Espectroscopia de Infrarrojo Cercano permite detectar, a partir de la huella espectral de una muestra de café, cafés provenientes de diferentes regiones o especies. Esta tecnología se ha implementado exitosamente en café y otros productos agroalimentarios.

Villegas (2014) en su investigación; “Identificación de Origen y Calibración para tres Compuestos Químicos en Café, por Espectroscopia de Infrarrojo Cercano”, el objetivo de este estudio fue evaluar la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), utilizando un equipo de mesa y un equipo portátil para explorar su potencial en la identificación de procedencia y cuantificación de compuestos químicos en café verde y tostado, usando la tecnología NIRS para comparar muestras de café procedentes de El Salvador, Costa Rica y Honduras, en un rango altitudinal de 700 a 1.600 m, establecieron el efecto de la altitud para los compuestos cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos, material grasa y sacarosa, encontrando diferencias significativas de los compuestos asociados a la altitud, y por lo tanto, se pudieron discriminar las

muestras; los resultados mostraron que la implementación de la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), mediante el uso de equipos portátiles, ofrece ventajas similares a los equipos de laboratorio en cuanto repetibilidad espectral y exactitud, tanto para café verde y tostado.

Giraud, Grassi y Savorani (2019) en su investigación; “Determinación del Origen Geográfico de los Granos de Café Verde Mediante Espectroscopia NIR y Análisis de Datos Multivariados”, tuvo como objetivo clasificar los granos de café verde de diferentes continentes y países. Los espectros FT-NIR de 191 muestras de café, provenientes de 2 continentes y 9 países, fueron adquiridos de dos laboratorios diferentes, donde se obtuvo el mejor modelo de clasificación por continente fue capaz de identificar correctamente más del 98% en la predicción, mientras que el 100% de ellos fue predicho correctamente por el mejor modelo de clasificación por país. La confiabilidad del método propuesto fue confirmada por la prueba de McNemar, ya que no se encontraron diferencias significativas. Además, los resultados de la selección de variables establecen las bases para el desarrollo de un dispositivo NIR portátil y rentable, personalizado para la discriminación de origen de los granos de café verde directamente en el campo para certificar la autenticidad y contrarrestar los fraudes.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Descripción del café

Arbusto o árbol pequeño, de tronco recto y corteza lisa, delgada y blanquecina, sus ramas flexibles acogen las hojas de a pares cruzadas; éstas son grandes, verde oscuras, y como las del laurel también coriáceas y de nervios bien marcados, lisas y lustrosas, sin olor, y de peciolo corto. En las axilas del peciolo, donde se encuentran las hojas nacen olorosas flores muy blancas con cinco pétalos estrechos y también cinco estambres. Los frutos son pequeñas drupas primero verdes y luego rojas, color cereza; de pulpa dulzona y dentro dos semillas plano convexas unidas por la cara plana de color verde pálido (café verde) que tras el tostado adquieren el aroma característico e inequívoco del café (Helvetas, 2017).



Figura 1. Planta de Café

Fuente: Mundo Cafeto, 2018

2.2.2 Cultivo de café

2.2.2.1 Condiciones ambientales del cultivo del café

Como todas las plantas, el café necesita de condiciones ambientales especiales para su producción, y todas ellas tienen importancia.

- **Temperatura:** esta debe ser entre los 17 a 26°C. La temperatura es muy importante porque si es menor a 16 grados se pueden quemar los brotes, y si la temperatura sobrepasa los 27 grados hay más riesgo de deshidratación de la planta con reducción de la fotosíntesis.
- **Altura:** La altura apropiada para la producción del café es de entre 900 a 1600 metros sobre el nivel del mar. Si se cultiva el café a menor altura, los costos de

producción aumentan, ya que se reduce la calidad de los granos de café. En cambio, si se cultiva a mayor altura de la aconsejada, se produce un menor crecimiento de las plantas.

- **Vientos:** Los vientos también son importantes en la producción del café, porque si los vientos superan los 30 Km. /h se produce un daño en la planta con la caída de hojas, rotura de flores y frutos y deshidratación de las yemas.
- **Lluvias:** El agua natural que reciben las plantas es esencial, pero si es excesiva puede ser perjudicial. Por ello, el rango establecido de precipitaciones necesarias para la producción de café es de, entre 1,000 a 3,000 milímetros/año. Si llueve más se producen hongos, y si reciben menos lluvias la producción disminuye, porque se reduce el crecimiento de las plantas de café.
- **Humedad:** La humedad es también muy importante y va de la mano de las precipitaciones. Si la humedad relativa es mayor a 90.0% hay riesgo de que la planta se enferme con hongos. Por ello, se aconseja que el ambiente tenga en un 65.0 a 90.0% de humedad.

2.2.3 Morfología del cultivo

El cafeto es un arbusto o árbol pequeño, perennifolio, de tronco recto que puede alcanzar los 10 metros en estado silvestre; en los cultivos se les mantiene normalmente en tamaño más reducido, alrededor de 3 metros.

- **La raíz.** El sistema radicular es superficial estando el 60.0% en los primeros 30 centímetros. De profundidad y la raíz pivotante puede llegar a más de un metro de profundidad.
- **Tallo principal.** Yemas cabeza de serie. Dan origen a ramas plagiótropicas primarias solamente. Tienen conexión vascular con el tallo desde el principio.

- **Yemas seriadas.** Originan brotes ortotrópicas solamente su número puede aumentar con la edad del cafeto.
- **Ramas primarias.** Yemas cabeza de serie. Forman ramas plagiótropicas secundarias solamente. Yemas seriadas. Originan de 2 a 4 inflorescencias y cada inflorescencia tendrá 4-5 yemas florales. También pueden originar ramas plagiótropicas, pero nunca darán origen naturalmente a ramas ortotrópicas.
- **Hojas.** Son opuestas y alternas en el tallo ortotrópicas y en ramas plagiótropicas son opuestas. Son de color verde oscuro y brillante en la parte superior y verde claro en el interior. Ovals y terminan en punta, sus bordes son ondulados. Las hojas nuevas presentan una coloración bronceada o verde claro y después toman su coloración definitiva.
- **Flores.** Se localizan en las axilas de las hojas de las ramas plagiótropicas. La corola es blanca y formada por 5 pétalos fusionados en su base, dando origen al tubo de la corola; el cual se encuentra inserto en la parte superior del ovario. El ovario, normalmente con dos lóculos, contiene un ovulo por lóculo tiene cinco estambres con antenas, de color blanco y bifurcado en el estigma.
- **Fruto.** El fruto es una drupa de superficie lisa y brillante, de pulpa delgada fácilmente desprendible del pergamino. Cuando maduran los frutos son rojos o amarillos, con dos semillas. En ocasiones solo uno de los óvulos se fecunda y se desarrolla originando una semilla de forma redonda que se le conoce como café caracol. El café cerezo se compone de la pulpa y café pergamino. La pulpa está formada por el epicarpio o cáscara o pellejo correspondiendo al 46% del fruto. El mesocarpio o mucílago miel corresponde al 17.18%. El café pergamino está constituido por el endocarpio o pajilla que representa el 18.20%. El espermodermo o película plateada representa el 0.2% y el café verde se encuentra en 17-18% del fruto.
- **Semilla.** Son oblongas, plano convexas, representan del 35.0 al 38.0% del fruto del café, están constituidas por el endocarpio o pergamino, una película plateada

o perisperma, endosperma cotiledón o embrión. El endospermo contiene muchos compuestos, entre los que destacan la cafeína, proteínas, aceites, azúcares, dextrina, celulosa, hemicelulosa, ácido clorogénico y minerales entre otros.



Figura 2. Morfología del café

Fuente: Mundo Cafeto, 2018

2.2.4 Variedades de Café

El cafeto pertenece a la familia de las Rubiáceas, al género *Coffea*, que comprende alrededor de 60 especies, de las cuales 2 especies son las más cultivadas (Dashwood, 2017).



Figura 3. Variedades de Café

Fuente: Joaquín Salazar, 2019

2.2.4.1 Arábicas (*Coffea arábica*) Originario de Etiopía:

Representan las variedades más conocidas, extendidas y apreciadas, representando el 70% de la producción mundial. Las variedades más conocidas se cultivan en las zonas altas de América Latina: Colombia, México, Perú y en África en Kenya y Etiopía. En Perú, la única especie comercial es la *coffea arábica*. Estos son algunas de las variedades más conocidos de café arábica (Melke y Ittana, 2014).

- **Bourbon:**

Estas plantas producen un 20 a 30% más café que la variedad *Typica*, pero aún tienen una cosecha más pequeña que la mayoría de variedades. Tiene una forma menos cónica con más ramas secundarias. Las hojas son anchas y onduladas en los bordes. El fruto es relativamente pequeño y denso. Las cerezas maduran rápidamente y tienen mayor riesgo de caerse durante vientos fuertes o lluvias. Los mejores resultados para el café Bourbon se realizan entre 1000 y 2000 metros de altura. La calidad de la taza es excelente y similar a la *Typica* (Melke y Ittana, 2014).

- **Typica:**

La variedad typica podría definirse como la madre de todas las variedades, ya que a partir de ella se han desarrollado, por mutación natural o por hibridaciones de laboratorio, gran parte de las variedades arábicas más cultivadas en todo el planeta. Es originaria de Etiopía y Grecia y aun lo hace en algunas regiones de ese país en forma de completamente silvestre. El café typica alcanza 5 metros, su bajo rendimiento se ve muy bien compensado en el sabor de sus granos en la taza. El café preparado con typica siempre será de excelente calidad, con buen cuerpo y gran dulzura. (Copyright, 2012)

Es la base a partir de la cual muchas variedades de café se han desarrollado. Al igual que los otros que se han desarrollado a partir de ella, las plantas de café Typica tienen una forma cónica con troncos: un tronco vertical y otros verticales secundarios que crecen con una ligera inclinación. Esta variedad tiene una producción muy baja, pero una calidad excelente (Melke y Ittana, 2014).



Figura 4. Café Variedad Typica

Fuente: Joaquín Salazar, 2019

- **Caturra:**

Es una mutación de la variedad Bourbon descubierta en Brasil con una alta producción y buena calidad, pero que requiere de una amplia atención y fertilización. La planta es más baja, con un núcleo grueso y muchas ramas secundarias. Tiene hojas grandes con bordes ondulados similares al Bourbon. Se adapta bien a casi cualquier ambiente, pero mejor entre los 500 y 1700 metros con precipitaciones anuales entre 2500- 3500 mm, a mayor altitud aumenta la calidad, pero disminuye la producción (Melke y Ittana, 2014).

- **Catuai:**

Es una planta de café de alto rendimiento resultante de un cruce entre Mundo Novo y Caturra. El fruto no cae de la rama con facilidad, lo cual es favorable con zonas de fuertes vientos o la lluvia. También requiere de fertilización y cuidado suficiente (Melke y Ittana, 2014).

- **Catimor:**

Es un cruce entre Timor (híbrido de robusta y arábica muy resistente a la oxidación) y Caturra. Fue creada en Portugal en 1959. La maduración es temprana y la producción es muy alta, por lo que deben ser monitoreados de cerca. Relativamente pequeños en estatura, tienen grandes frutos y semillas de café. Se adapta bien a regiones más bajas, pero a una altura mayor tiene una mejor calidad de taza (Melke y Ittana, 2014).

- **Mundo Novo:**

Híbrido natural de Typica y Bourbon. La planta fue encontrada por primera vez en Brasil. Es fuerte y resistente a las enfermedades. Mundo Novo tiene una alta producción, pero madura un poco más tarde que otros tipos de café. Se da especialmente bien con una altura entre 1000 y 1700 metros con precipitaciones anuales de 1200-1800 mm (Melke y Ittana, 2014).

- **Maragogype:**

Esta variedad de café es una mutación de café Typica y fue descubierto en Brasil. La planta del café Maragogype es grande y es más alto que cualquiera de Bourbon o Typica. La producción es baja, pero las semillas son muy grandes y muy apreciadas en determinados mercados de café justamente por su apariencia (Melke y Ittana, 2014).

2.2.4.2 Robusta (Coffea Canephora):

Se presume originaria del África o Indonesia. Fue descubierta en el siglo XIX y aparece en los mercados hacia 1930. La variedad robusta (Coffea canephora) tiene mayor contenido en cafeína, Es más resistente a las plagas y necesita menos cuidados, por lo tanto, es más económica, es la segunda especie más cultivada. Esta variedad puede ser cultivada a nivel del mar y hasta una altura de 600 metros principalmente en África e Indonesia (Prakash, 2018).

2.2.4.3 Otras especies

Existen otras especies menos importantes y difundidas, como son: *Coffea liberica*, *Coffea dewevrei*, *Coffea stenophylla*, *Coffea congensis*, *Coffea abeokutae*, *Coffea klainii*, *Coffea zanguebariae* y *Coffea racemosa* (Café, 2011).

2.2.5 Nivel de Procesado del Café

El procesamiento del café puede ser de dos maneras: por vía húmeda que proporciona café lavado y la vía seca que proporciona café natural (Sberveglieri, 2011).

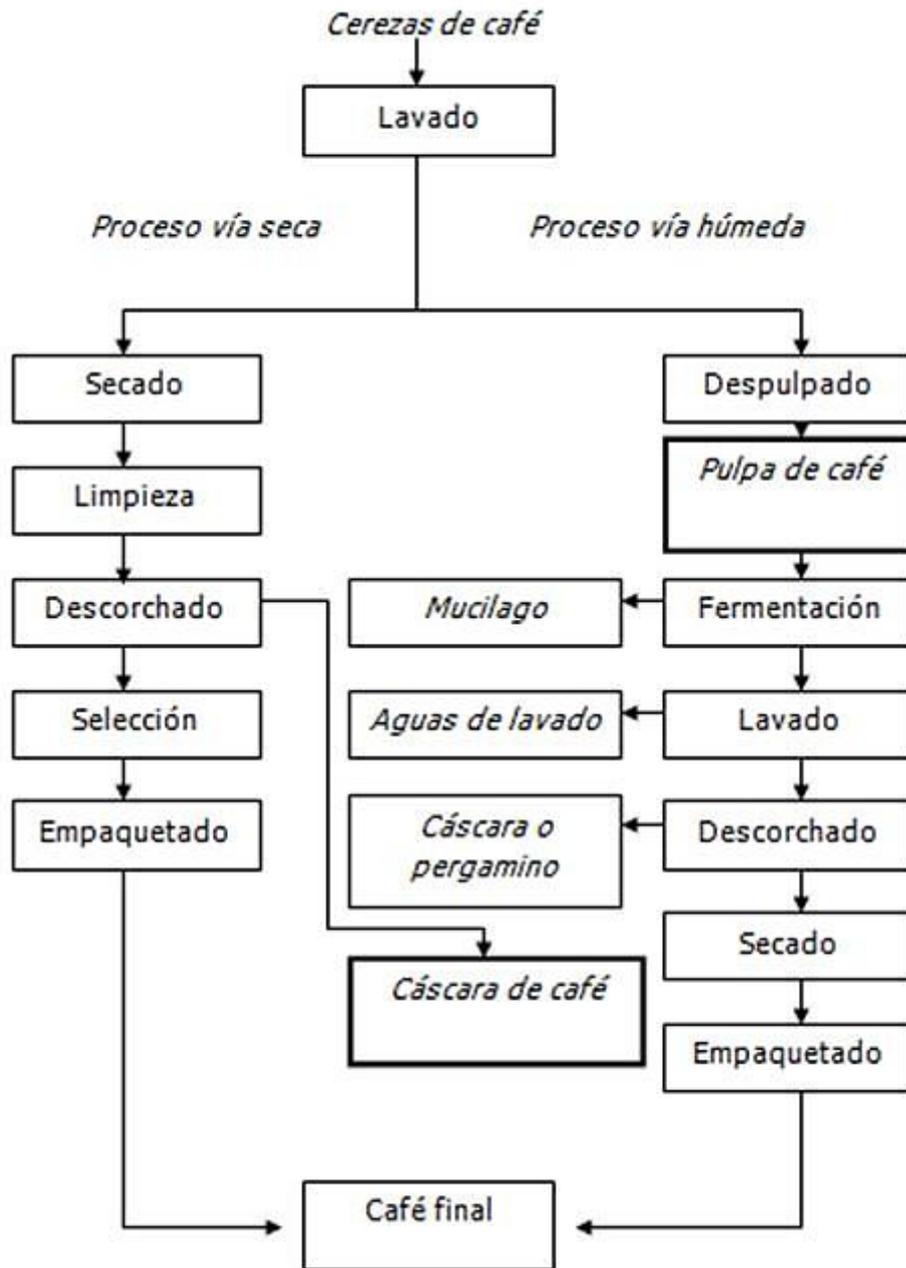


Figura 5. Proceso de obtención del café

Fuente: Alcides Traba, 2013

2.2.5.1 Método por Vía Seca

El método por vía seca (también llamado el método natural) es el más antiguo y el más sencillo y requiere poca maquinaria. Este método consiste en secar la cereza entera. Hay variaciones en cuanto a cómo se lleve a cabo el proceso, dependiendo del tamaño del cafetal, las instalaciones de que se disponga y a calidad final que se desee (Feng, 2016). A continuación, se describen las tres etapas básicas de limpieza, secado y descascarillado:

- **Primero:**

Las cerezas que se hayan recolectado se clasifican y limpian, para separar las cerezas que no están maduras de las que están demasiado maduras y de las que están dañadas y para quitar la suciedad, la tierra, las ramas y las hojas. Eso puede hacerse aventando, por lo general a mano, usando una criba grande. Las cerezas que no se quieran o cualquier otra materia que no pueda aventarse, podrá recogerse de la parte de arriba de la criba. Las cerezas maduras pueden también separarse poniéndolas a flotar en canales de lavado cerca de las superficies de secado (Café, 2011).

- **Segundo:**

Las cerezas de café se extienden al sol, o bien en patios grandes de cemento o ladrillo, o bien en esteras alzadas hasta la altura de la cintura sobre caballetes. A medida que las cerezas secan, se rastrillan o se les da vuelta a mano para que sequen por igual. Puede llevar hasta cuatro semanas secar las cerezas al nivel máximo de un contenido de humedad del 12,5%, dependiendo de las condiciones atmosféricas. En los cafetales más grandes se hace a veces el secado a máquina para acelerar el proceso después de que se haya secado antes el café al sol durante unos cuantos días. La operación de secado es la etapa más importante del proceso, puesto que afecta a la calidad final del café verde. Un café que haya secado demasiado se volverá quebradizo y dará demasiados granos quebrados durante la criba (los granos quebrados se consideran defectuosos) y un café que no haya secado lo suficiente tendrá demasiada humedad y será proclive a un rápido deterioro ocasionado por hongos y bacterias (Copyright, 2012).



Figura 6. Secado del Café

Fuente: Coffee IQ, 2018

- **Tercero:**

Las cerezas secas se almacenan a granel en silos especiales hasta que se envían al molino, donde se criban, se separan, se clasifican y se meten en sacos. La descascaradora quita de una vez todas las capas exteriores de la cereza seca. El método de vía seca se usa para el 95% aproximadamente del café Arábica que se produce en el Brasil, para la mayoría del café que se produce en Etiopía, Haití y Paraguay y también para algunos tipos de café Arábicas que se producen en la India y en Ecuador. Casi todos los tipos de cafés “Robustas” se benefician con ese método que no es práctico en zonas muy lluviosas, en las que la humedad atmosférica es demasiado elevada o en las que llueve con frecuencia durante la cosecha (Suarez y Quiroz, 2005).

2.2.5.2 Método de Vía Húmeda

El método de vía húmeda requiere el uso de un equipo concreto y cantidades considerables de agua. Cuando se hace bien, se consigue que los atributos intrínsecos del grano de café se conserven mejor y que el café verde sea homogéneo y tenga pocos granos defectuosos. De ahí que el café que se beneficia con este método se

considere en general de mejor calidad y alcance precios más altos. A continuación, se explican cada una de las etapas que se utilizan en este método:

- **Selección y Limpieza**

Aunque el café se haya recolectado con cuidado, entre las cerezas maduras se encontrarán algunas cerezas que no estén maduras o no del todo secas y también algunas piedras y tierra. Al igual que en el método por vía seca, en general hay que hacer una separación y limpieza preliminar de las cerezas que deberá tener lugar lo más pronto posible de la recolección. Esa operación puede hacerse lavando las cerezas en tanques repletos de agua corriente. Pueden usarse también cribas para separar mejor las cerezas maduras de las que no lo están y las grandes de las pequeñas (Suarez y Quiroz, 2005).

- **Despulpado:**

Después de la separación y la limpieza se saca la pulpa de la cereza. Es la operación principal que diferencia entre el método por vía seca y el método por vía húmeda, dado que en el método por vía húmeda la pulpa del fruto se separa del grano antes de ponerlo a secar. El despulpe lo hace una máquina que aprieta las cerezas entre planchas fijas y removibles. La carne y la piel del fruto quedan a un lado y los granos, recubiertos de pergamino mucilaginoso al otro. El espacio entre las planchas se ajusta para evitar que se dañen los granos. La operación de despulpado deberá hacerse lo más pronto posible después de la recolección para evitar que el fruto se deteriore, lo que podría afectar a la calidad del grano.

Los granos despulpados pasan a cribas vibradoras que los separan de las cerezas que haya quedado sin despulpar o que lo hayan sido de forma imperfecta, así como de los pedazos grandes de pulpa que puedan haber pasado con ellas. Después de la criba, los granos separados despulpados se pasan por canales en los que se lavan con agua y se separan otra vez poniéndolos a florar antes de que pasen a la siguiente etapa. Debido a que el despulpe se hace por medios mecánicos, por lo general queda algún residuo de carne del fruto y también el mucílago viscoso que se adhiere al pergamino que recubre los granos. Eso tiene que quitarse por completo para evitar que los granos del café se contaminen con productos resultantes de la degradación de las sustancias mucilaginosas (Siu, 2007).

- **Fermentación:**

Los granos que acaban de ser despulpados se colocan en grandes tanques de fermentación en los que las sustancias mucilaginosas se descomponen bajo la

influencia de enzimas naturales hasta que puedan dispersarse y se los lleve el agua. Si no se vigila la fermentación con cuidado, el café puede adquirir un sabor indeseable y amargo, para la mayor parte de los cafés, la eliminación de las sustancias mucilaginosas lleva entre 24 a 36 horas, dependiendo de la temperatura, el grosor de la capa mucilaginosa y la concentración de los enzimas. Hay que someter a juicio cuándo termina la fermentación, que es cuando el pergamino que recubre el grano pierde la textura mucosa y adquiere un tacto más áspero (Café, 2011).

- **Lavado:**

Cuando termina la fermentación, se lava el café a fondo con agua limpia en tanques o en lavadoras especiales. El café pergamino lavado tiene en esta etapa un 57% de humedad aproximadamente. Cuando la capa mucilaginosa se ha degradado lo suficiente para que sus restos se desprendan fácilmente, se procede a un lavado con agua de los granos. El mucílago fluidificado es retirado del café por lavado, ya sea en el tanque (en el caso de pequeños productores), o utilizando dispositivos que operan por batches, siendo removido manual o mecánicamente (Feng, 2016).



Figura 7. Lavado del café

Fuente: Nimon Thong, 2019

- **Secado:**

Al concluir el lavado de los granos, se procede a un escurrido y posteriormente un secado. El café pergamino debe tener el contenido de humedad de 11-12 por ciento, ya que a un contenido de humedad mayor se constituye en un medio ideal para el desarrollo de hongos y mohos. Las modalidades de secado que se han vuelto tradicionales son, el secado solar y el artificial; el secado solar es realizado en patios, donde el café se extiende sobre una superficie construida en mampostería. El café pergamino se coloca formando una capa de poco espesor. La masa de grano es removida y volteada frecuentemente para uniformar su humedad y temperatura. La duración del secado al sol está supeditada al clima.

En lugares donde el aire es relativamente seco y de insolación intensa en los días de cosecha, el secado del café pergamino se logra entre 6 y 8 días. El secado artificial del grano de café presenta las ventajas de reducción de mano de obra, reducción de tiempo, un espacio de trabajo menos extenso, y no está sujeto a variaciones climáticas, pero requiere de una inversión inicial, debe evitarse que los granos se impregnen de productos de combustión de los materiales que puedan usarse para generar calor, ya que pueden afectar el olor y sabor del café (Herrera y Lambot, 2017).

- **Trillado y Empaquetado:**

En esta operación se desprende al grano de su pergamino y su capa plateada, con el uso de una trilladora, bajo las acciones combinadas de presión y fricción, las envolturas del grano se rompen y son expulsadas. El grano de café, una vez libre del pergamino, inicia un rápido proceso de oxidación, lo que deriva en la pérdida paulatina de sus atributos de calidad. Es por ello que, para la preservación de la calidad, es condición básica mantener el grano cubierto por el pergamino hasta el momento que vaya a realizarse el tostado, finalmente se colocan en sacos.

2.2.5.3 Composición nutricional del café en grano sin tostar

El grano de café es un fruto que a pesar de los procesos que le anteceden al consumo, aporta nutrientes al organismo. En la siguiente tabla 3 podemos observar el contenido de nutrientes más representativos en el café. Como se puede comprobar, el café no destaca por su valor energético, pero si es rico en algunos minerales. Además, está descrito que también es rico en algunas vitaminas como niacina (vitamina B3).

Además de las propiedades nutricionales que posee el café, hoy en día ha obtenido un gran valor gastronómico, produciéndose cafés muy selectos y de elevada calidad.

Tabla 1 Composición nutricional del café grano sin tostar

Café en grano sin tostar (100g)	
Energía kcal	203
Agua g.	6,3
Proteínas g.	11,7
Grasa total g.	10,8
Carbohidratos totales g.	68,2
Cenizas g.	3
Calcio g.	120
Fosforo g.	178
Hierro g.	2,9
Vitamina A µg.	3
Tiamina mg.	0,22
Riboflavina mg.	0,06
Niacina mg.	1,30

Fuente: Tablas Peruanas de Composición de Alimentos 2018.

- **La cafeína en los granos de café sin tostar:**

Las variedades granos de café tienen diferentes niveles de contenido de cafeína. Por ejemplo, el café etíope tiene un 1.13 % de cafeína, mientras que el café de Tanzania tiene un 1.42 % de cafeína. El popular grano Arábica contiene 1.5 % de cafeína, mientras que el grano Robusta tiene un 2.4 % de cafeína. El color del grano revela información sobre su contenido de cafeína. Los granos más oscuros requieren un tiempo de tostado más largo, lo que significa que se quemara más cafeína (ALFARO, 2016).

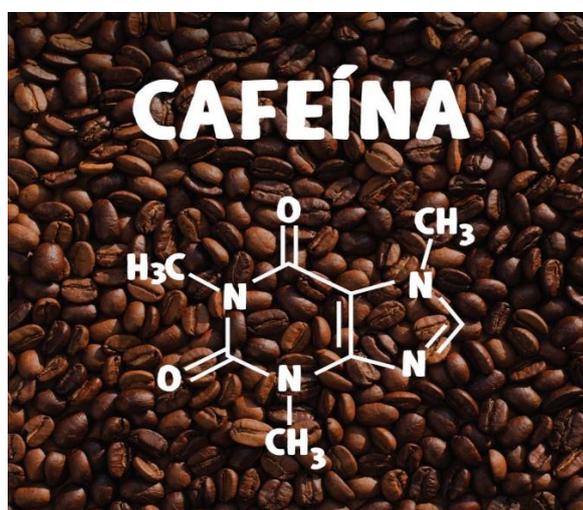


Figura 8. Cafeína en el café

Fuente: Alamy, 2017

2.2.6 Generalidades de NIRS

La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) se basa en el uso de ondas de la región del infrarrojo cercano (NIR) del espectro electromagnético. El NIR pertenece al segmento de luz con ondas de longitud entre 780 a 2500 nm del espectro electromagnético situada entre las regiones visible e infrarroja, con longitud de onda más larga. El segmento de luz visible al ojo humano se extiende alrededor de 400 a 800 nm, mientras que el espectro infrarrojo se extiende de aproximadamente de 780 a 1.000.000 nm. (Peña, 2012).

El origen del NIRS se remonta desde que Isaac Newton entre 1665 y 1666 comenzó a experimentar con la luz para tratar de determinar su naturaleza, observando que, al hacer pasar la luz a través de un prisma, ésta se descomponía en los colores del espectro, y al volver a hacer pasar la luz por otro prisma la luz se podía recomponer dando lugar de nuevo a luz blanca. Esto llevó a Newton a concebir la luz solar como un compuesto de luz de diferentes colores, siendo el punto de partida para el estudio de la espectroscopia. El primer reporte del uso del NIRS en análisis de alimentos fue con soya por Ben-Gera y Norris en 1968 (Dryden, 2003).

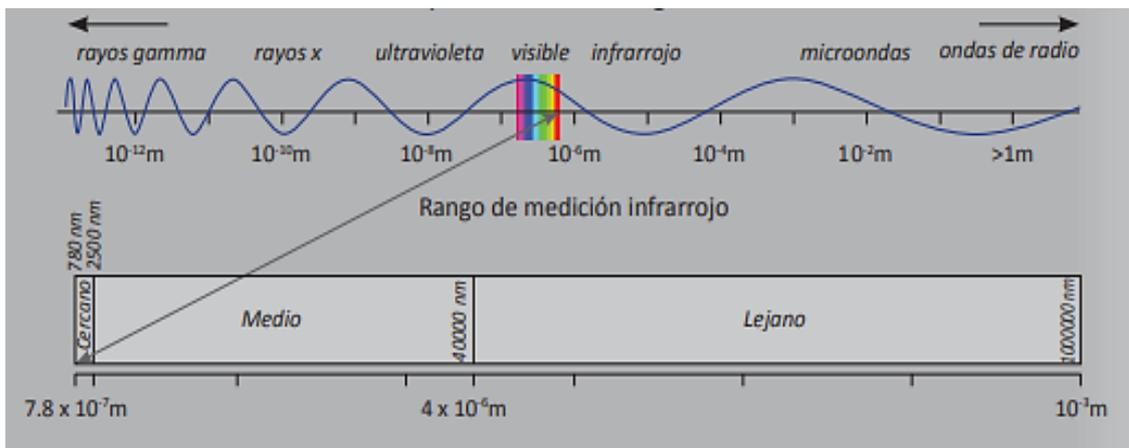


Figura 9. Espectro Electromagnético

Fuente: Iker, 2017

2.2.6.1 Principios de la técnica NIRS

La técnica consiste en la radiación de una muestra con luz infrarroja de diferentes longitudes de onda y posteriormente relacionar la cantidad de luz absorbida con la presencia de grupos funcionales de las moléculas. La representación de la luz absorbida es dada en el espectro que muestra los picos de absorbancia y las bandas de absorción a diferentes frecuencias dependiendo de la composición química de la muestra analizada (Cozzolino, 2008).

El NIRS se fundamenta en la quimiométrica, es decir, la aplicación de las matemáticas en la química analítica. Combina la espectroscopia, la estadística y la computación y genera modelos matemáticos que relacionan la composición química (presencia de grupos químicos activos) con cambios de energía en la región NIR (Peña, 2012).

El NIRS registra la absorción de energía en enlaces de C-H, N-H y O-H, los cuales se encuentran en diversos componentes orgánicos. La absorción puede ser débil o fuerte conforme a la naturaleza de los enlaces químicos de los compuestos sólidos o líquidos. Cada grupo funcional absorbe luz de la región NIR a una frecuencia y longitud de onda específica y es representado en el espectro como picos de absorción (B.A, 2016).

2.2.6.2 Aplicaciones de NIRS

La espectroscopia NIR presenta un enorme potencial para la caracterización de una gran variedad de productos de forma instantánea. La base de esta tecnología reside en la creación de un modelo matemático que relacione los valores espectrales (datos de absorbancia NIR) con los parámetros cuantitativos y cualitativos de interés. Una vez desarrollado este modelo, se pueden realizar estimaciones de estos parámetros a partir de sus espectros NIR. La técnica está ampliamente extendida en el mundo de la industria relacionada con diferentes áreas de aplicación (Jimaré, 2008).

La espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) se emplea desde la década del 70 en la industria alimenticia, como alternativa a los métodos químicos y químicos – biológicos tradicionales. El NIRS es una técnica rápida, no destructiva ni contaminante, de gran exactitud siempre que se sigan los procedimientos adecuados para crear las ecuaciones de calibración, en los últimos años se han desarrollado numerosas aplicaciones NIRS para evaluar la composición, procesamiento y certificación de la calidad de alimentos tanto para la alimentación humana como para la alimentación animal. El método utiliza la región del infrarrojo cercano de longitudes de onda entre los 700nm y 2500 nanómetros(nm) del espectro electromagnético (Dryden, 2003) .

2.2.7 NIR (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano)

La espectroscopia de reflectividad de infrarrojo cercano (NIRS), que se basa en la absorción de radiación electromagnética en el rango de longitud de onda de 780-2526 nm, puede proporcionar información estructural completa sobre los componentes y propiedades de las muestras a nivel molecular. Está comprobado que esta región de bandas espectrales surge de armónicos de las vibraciones de estiramiento C-H, C-O, O-H y N-H (Xie, Ying y Ying, 2009).

La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) superó los métodos físicos y químicos clásicos con las ventajas de la velocidad analítica rápida, la operación fácil y las mediciones no destructivas para detectar las cualidades de los productos agrícolas. Se ha utilizado para determinar el contenido de sólidos solubles (SSC) y la firmeza de las frutas, como la pera, la fresa, el kiwi, grape y melón. Además, la espectroscopia NIR también se ha utilizado para discriminar de forma no destructiva variedades de productos agrícolas, como tomates rojos y rosados usando regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) con diferencia de 96.85%, usando variedades tailandesas de naranja regresión logística con 100% de precisión de clasificación, Bayas chinas usando red neuronal articular de BP (BP-ANN) con 95% de precisión, variedades de yogurt aplicando BP-ANN con 100% tasa de reconocimiento, cafés variedades con 100% de precisión, y variedades de granos de café que usan PLS con errores de clasificación errónea en el rango de 5-10%. Estos estudios muestran que las variedades pueden ser identificadas con excelentes tasas de discriminación (Amodio, Ceglie, Chaudhry, Piazzolla, y Colelli, 2017).

2.3 Definición de Términos Básicos

2.3.1 Origen Geográfico

Es el lugar de procedencia determinada que sirve para identificar a un ser vivo, objeto o cosa, es el lugar que genera un sentido de pertenencia e identidad (Copyright, 2012).

2.3.2 Proceso

Es la acción de avanzar o ir para adelante, al paso del tiempo y al conjunto de etapas sucesivas advertidas en un fenómeno natural o necesarias para concretar una operación artificial (Jimaré, 2008).

2.3.3 Café

El cafeto es un arbusto perenne que pertenece a la familia de las rubiáceas y del género Coffea, son arbustos que tienen una altura entre los 10-12 metros, pero para facilitar su manejo, se poda entre los 2 y 4 metros, además son plantas que requieren de clima y suelos tropicales, la primera cosecha del café ocurre a los dos años, pero solo después de los cuatro o cinco años comienzan a recogerse las cosechas óptimas.

El fruto del café es una cereza que cuando nace es de un color verde y luego cambia a amarillo hasta tomar un color rojo, lo que significa que ha alcanzado su plena madurez, en el interior de cada cereza, hay dos semillas separadas por un surco y rodeadas de una pulpa amarilla. Estos granos están protegidos por una película plateada llamada mucilago y recubiertos por una piel de color amarillo (Claudia, 2015).

2.3.4 NIRS (Espectroscopia de Infrarrojo Cercano)

Es un método analítico basado en la espectroscopia (de reflectancia) en el infrarrojo cercano, se basa en la absorción de radiación electromagnética en el rango de longitud de onda de 780-2526 nm, puede proporcionar información estructural completa sobre los componentes y propiedades de las muestras a nivel molecular. Está comprobado que esta región de bandas espectrales surge de armónicos de las vibraciones de estiramiento C-H, C-O, O-H y N-H; se ha convertido en una potente herramienta para la investigación científica (Xie, Ying, & Ying, 2009).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Tecnología de frutas y hortalizas, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca; además el análisis NIR de las muestras se realizó en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas ubicada en la ciudad de Chachapoyas.

3.1.2 Materiales

Materia Prima

- Muestras de café variedad típica con cáscara y sin cáscara de las provincias de Jaén y San Ignacio.

Equipos de laboratorio

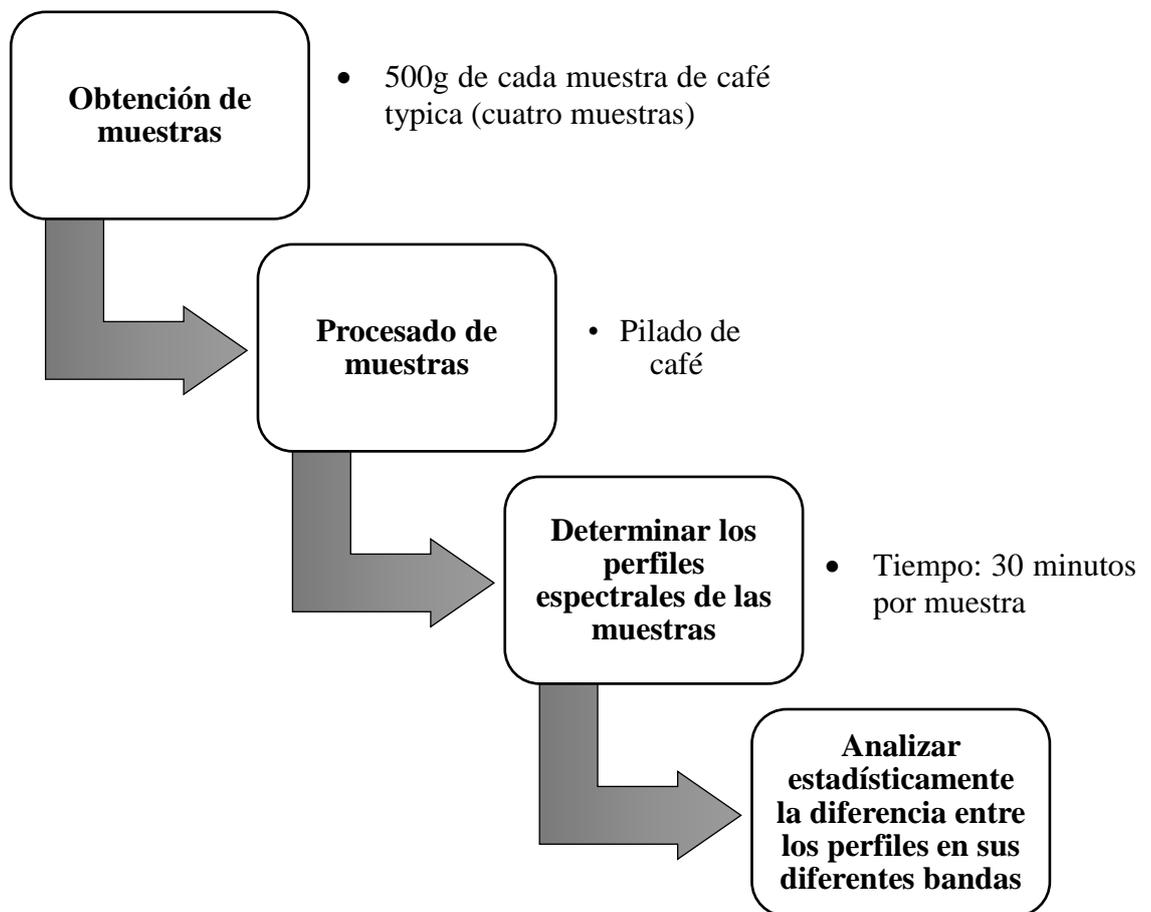
- Balanza analítica
- Espectrómetro infrarrojo cercano Unity Scientific NIRS (SpectraStar 2500XL, EE.UU.)

3.1.3 Otros Materiales

- Artículos especializados
- Computadora portátil
- Impresora

3.1.4 Metodología

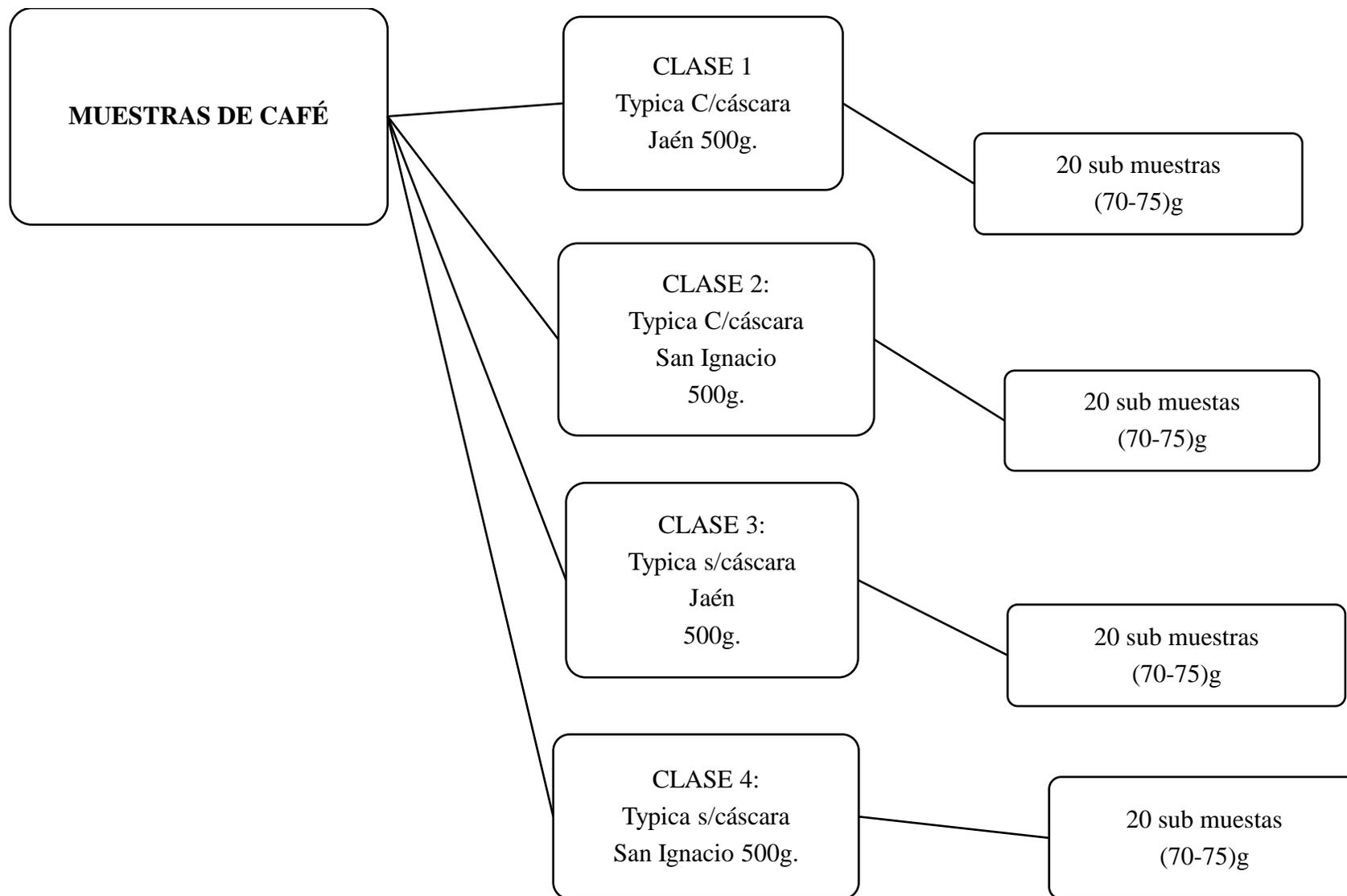
3.1.4.1 Proceso experimental de la investigación



3.1.4.2 Descripción del proceso experimental

- **Obtención de muestras:** para realizar este estudio se necesitó 500g de cada muestra de café variedad típica con cáscara y sin cáscara de diferentes orígenes geográficos; obtenidas de las provincias de San Ignacio y Jaén del departamento de Cajamarca.
- **Procesado de muestras;** después de obtener las muestras de café en condiciones secas sin tostar conocido como café pergamino en el set de validación, se aplicó el proceso de pilado con la finalidad de quitar el pergamino y obtener café verde.

- **Determinar los perfiles espectrales de las muestras previamente obtenidas;** la medición de los espectros de absorbancia se realizó usando un espectrómetro infrarrojo cercano Unity Scientific NIRS (SpectraStar 2500XL, EE.UU.) equipada con lámpara halógena de tungsteno como fuente de luz y detector InGaAs (Indio – Galio – Arsénico) en el rango de 1100 y 2500 nm, con una resolución de 1 nm; cada muestra de 500 g. de café variedad típica con cáscara y sin cáscara se dividieron en 20 submuestras que pesaban entre 70 y 75 g. el tiempo de medición duro 30 minutos por cada muestra.



- **Analizar estadísticamente la diferencia entre los perfiles en sus diferentes bandas;** luego de obtener los resultados se determinó si existe diferencia estadística significativa en los perfiles de cada una de las muestras. Se analizó por medio de un sistema de comparación multivariado múltiple, además se usó el método de análisis de componentes principales (PCA), éste método nos ayuda para la reducción de datos y permite pasar de una gran cantidad de variables interrelacionadas a unas pocas componentes principales, después se obtuvo la matriz de confusión o matriz de error; es una tabla de contingencia que sirve como herramienta estadística y ofrece una visión completa de la distribución de los acuerdos y errores entre las clases y finalmente comprobar si existe relación en las muestras de café teniendo en cuenta el origen.

3.2 Tipo de Investigación

Experimental, de nivel explicativo y aplicativo

3.2.1 Unidad de análisis, población y muestra de estudio

3.2.1.1 Unidad de análisis

Son muestras de café variedad typica con cáscara y sin cáscara, en condiciones de una buena calidad, secos y sin tostar.

3.2.1.2 Población:

Las muestras de café variedad typica tienen como lugares de procedencia de la provincia de San Ignacio y de la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

MUESTRAS DE CAFÉ



Figura 10 Mapa de las provincias donde se obtuvieron las muestras de café

Fuente: Francois, 2013

3.2.1.3 Muestra:

En esta investigación se obtendrán muestras por conveniencia; porque nos permite seleccionar muestras con mayor facilidad y de esa manera poder comprobar si se cumple la hipótesis planteada; las muestras han sido obtenidas de:

Tabla 2 Origen de las muestras

Origen Geográfico	Variedad de Café
Distrito de Jaén	Typica
Distrito de San Ignacio	Typica

3.3 Técnicas de procesamiento y análisis de información

- **Adquisición de espectros NIR:**

Las muestras de café se sometieron a la técnica de clasificación en la máquina de soporte de los espectros de absorbancia, usando un espectrómetro infrarrojo cercano Unity Scientific NIRS (SpectraStar 2500XL, EE.UU.) equipada con lámpara halógena de tungsteno como fuente de luz y detector InGaAs (Indio – Galio – Arsénico) en el rango de 1100 y 2500 nm, con una resolución de 1 nm en un tiempo de dos horas, cada muestra se mezcló siempre cuidadosamente antes de pesar y analizar cada una de las 20 repeticiones para obtener los espectros.

- **Análisis de la información:**

Para poder observar si los espectros NIR pueden diferenciar el café Typica en base a su zona geográfica y en base a si esta pelado o no, se analizó por medio de un sistema de comparación multivariado múltiple, además se realizó un análisis de múltiples rangos usando el modelo de discriminación de Tukey.

También se analizó mediante una matriz de confusión; es una herramienta que permite la visualización del desempeño de un algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real. Uno de los

beneficios de las matrices de confusión es que facilitan ver si el sistema está confundiendo dos clases. (Claudia, 2015).

Finalmente se obtuvo el diagrama de dispersión bidimensional de las cuatro clases de café, donde se observó que las muestras se encuentran dispersas y si se pueden diferenciar cada una de acuerdo a la relación que tienen entre origen geográfica y café típica con cáscara y sin cáscara.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Obtención de las muestras de café de las provincias de Jaén y San Ignacio departamento de Cajamarca.

En la figura 11, se observa la ubicación geográfica de la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca; de donde se obtuvieron las muestras de café variedad típica con cáscara y sin cáscara.

La Provincia de Jaén tiene una extensión territorial de 5 232,57 km cuadrados que representa el 15,4 % del total departamento de Cajamarca, está ubicada en la zona Nor-Oriental de Cajamarca, actualmente, su actividad agrícola está basada en la producción de café.



Figura 11 Ubicación Geográfica de la provincia de Jaén

En la figura 12, se muestra el mapa geográfico donde se encuentra la provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca.

La provincia de San Ignacio está localizada en el extremo norte del departamento de Cajamarca, que corresponde así mismo al extremo septentrional de Perú, en la frontera con el Ecuador, tiene una superficie: 4.990 km², es una de las provincias que produce mayor cantidad de café en la región.

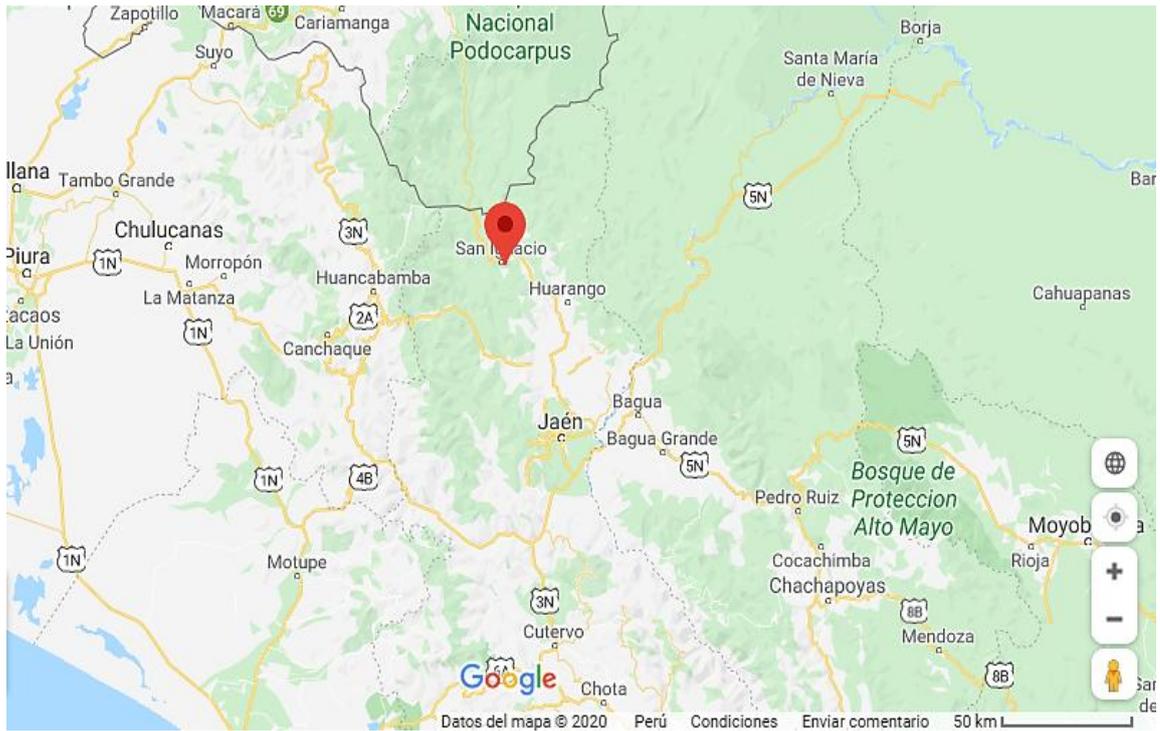


Figura 12. Ubicación Geográfica de la provincia de San Ignacio

- **Imágenes de las muestras de café antes del proceso de cosecha**

El café es muy sensible a los cambios del clima para que el cultivo del cafeto sea económicamente viable, es preciso tener un clima con temperaturas medias anuales de unos 20 °C y más de 1200 mm de precipitación anual. Las temperaturas superiores a 30 °C durante períodos prolongados reducen los rendimientos de la planta y las heladas durante semanas o incluso días pueden llegar a matar la planta. Un período seco corto de menos de 40 mm de precipitación por mes promueve una floración uniforme y aumenta el rendimiento, pero si el período seco dura más de tres meses se reduce el rendimiento; es por eso que el cultivo del café necesita de una combinación idónea de temperatura diurna y nocturna, disponibilidad de agua y días

secos, horas de luz e intensidad del sol, viento, las condiciones óptimas para el cultivo corresponden a cinco horas de sol en promedio por día; una temperatura nocturna de 17 a 18 °C y una temperatura diurna de 22 a 23 °C; viento moderado (25 km/hora) (Donovan, 2017), como se observa en la figura 13 algunos granos de café variedad typica están de color rojo los cuales serán cosechados y servirán como muestras de esta investigación .



Figura 13. Variedad Typica

Según Mendoza (2019); el secado del café es la etapa donde luego del lavado se deja secar con el fin de reducir el contenido de humedad del café pergamino garantizando condiciones óptimas para el posterior proceso de trillado y almacenamiento según condiciones técnicas existe dos técnicas de secado: secado al sol, este tipo de secado consiste en dejar el café expuesto al sol durante un largo periodo de tiempo que es aproximado de 7 a 15 días según sean las condiciones climáticas y Secado mecánicos se realiza con la ayuda de máquinas, es mucho más rápido, pero se corre el riesgo de afectar la calidad del café, las máquinas utilizadas para el secado mecánico envían

aire caliente a unos 50°C al fruto; en esta investigación se utilizó la técnica de secado al sol con la finalidad de mantener la calidad de las muestras de café como se observa en la figura 14 los granos de café están tendidos en mantas de manera uniforme.

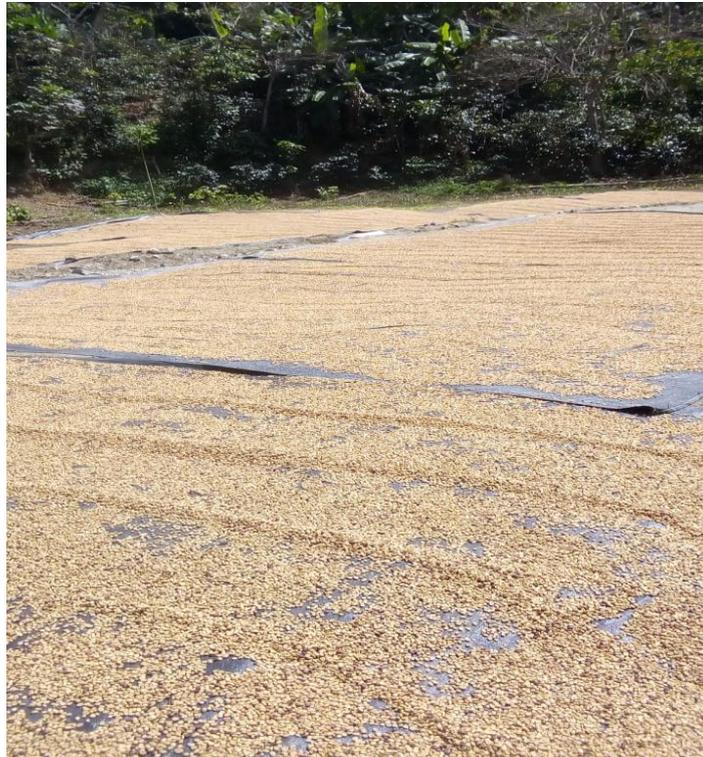


Figura 14. Proceso de secado

Después del proceso de secado de café de las muestras se tomaron 500g de cada uno teniendo en cuenta el lugar de origen respectivamente, como se muestra en las figuras 15 y 16.



Figura 15. Muestra de café típica de la provincia de Jaén- Cajamarca

La muestra de café típica de la provincia de Jaén se encuentra en condiciones secas con cáscara como se puede observar en la figura 15. De la misma manera se observa en la figura 16, la muestra de café típica de San Ignacio esta con cáscara o también llamado pergamino, a simple vista no se puede diferenciar según sus características físicas porque son muy parecidas.



Figura 16. Muestra de café típica de la provincia de San Ignacio – Cajamarca

El pilado o trillado de café es un proceso que consiste en separar del grano el pergamino o cáscara alrededor de la semilla de café, esto se realiza con una máquina

de trilla la cual por una acción combinada de fricción y presión por fuerza rotacional hace salir la semilla almendra que por corrientes de aire son evacuadas (Mendoza, 2019); en esta investigación el proceso se realizó manualmente porque no se contaba con la maquinaria necesaria y también por la pequeña cantidad de las muestra como se observa en la figura 17.



Figura 17 Pilado de Café

En la figura 18 se observa las muestras de café típica de Jaén y San Ignacio sin cáscara o pergamino, comparando las dos muestras según sus características físicas podemos apreciar que no se puede diferenciar porque son muy parecidas.



Figura 18 Muestras de café sin cascara

4.2 Determinar los perfiles espectrales de las muestras previamente obtenidas.

En la investigación se utilizó un espectrómetro infrarrojo cercano Unity Scientific NIRS (SpectraStar 2500XL, EE.UU.) equipada con lámpara halógena de tungsteno como fuente de luz y detector InGaAs (Indio – Galio – Arsénico) en el rango de 1100 y 2500 nm, con una resolución de 1 nm; como se observa en la figura 19 el equipo NIR.

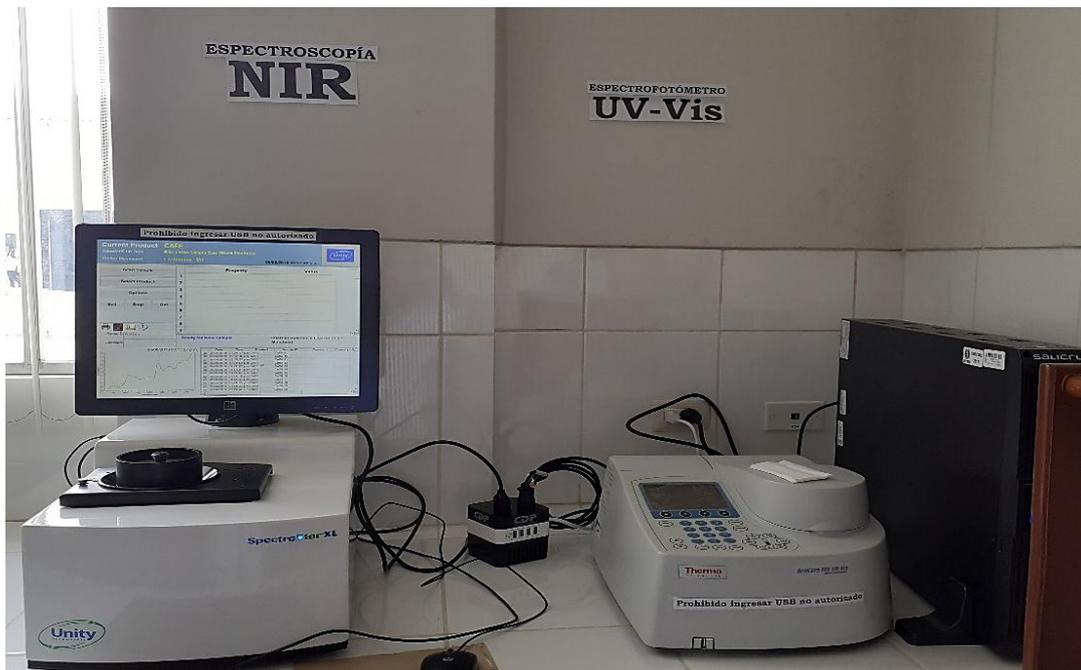


Figura 19. Equipo NIR

El analizador NIR SpectraStar de Unity Scientific pertenece a la nueva generación de alta gama de analizadores de barrido continuo, diseñado para brindar soluciones de análisis físico-químicos al sector alimentario y agropecuario, principalmente; puede utilizarse como herramienta de análisis en plantas y laboratorios de control de calidad. (B.A, 2016) en esta investigación se analizará la diferencia entre los perfiles en sus diferentes bandas de las muestras de café variedad typica con cáscara y sin cáscara teniendo en cuenta su origen geográfico. En la figura 20, se muestra el proceso que se debe seguir para analizar cada una de las muestras.



Figura 20. Pesado de muestras

De cada muestra se divide en 20 submuestras que se encuentran en los rangos de 70 a 75g respectivamente, para luego ser puesta en un espectrómetro infrarrojo cercano Unity Scientific NIRS (SpectraStar 2500XL, EE.UU.)

En la actualidad es la mejor solución para el rápido control de calidad en las industrias agropecuarias y alimentarias, para medir de manera precisa, incluso en las aplicaciones más exigentes. Mediante el software Ucal es posible crear nuevas calibraciones y bases de datos, así como transferir calibraciones de cualquier otro sistema NIR previo (B.A, 2016).

Además, el análisis NIR ofrece resultados rápidos, asequibles y precisos. Permite tomar decisiones en tiempo real, aumentado la calidad y la productividad de cada análisis que se realiza; en esta investigación se obtuvo los resultados necesarios para poder determinar si existe relación entre el origen geográfico, nivel de procesado en el perfil NIR del café variedad typica. En la figura 23 se observa los resultados de las muestras gráficamente.

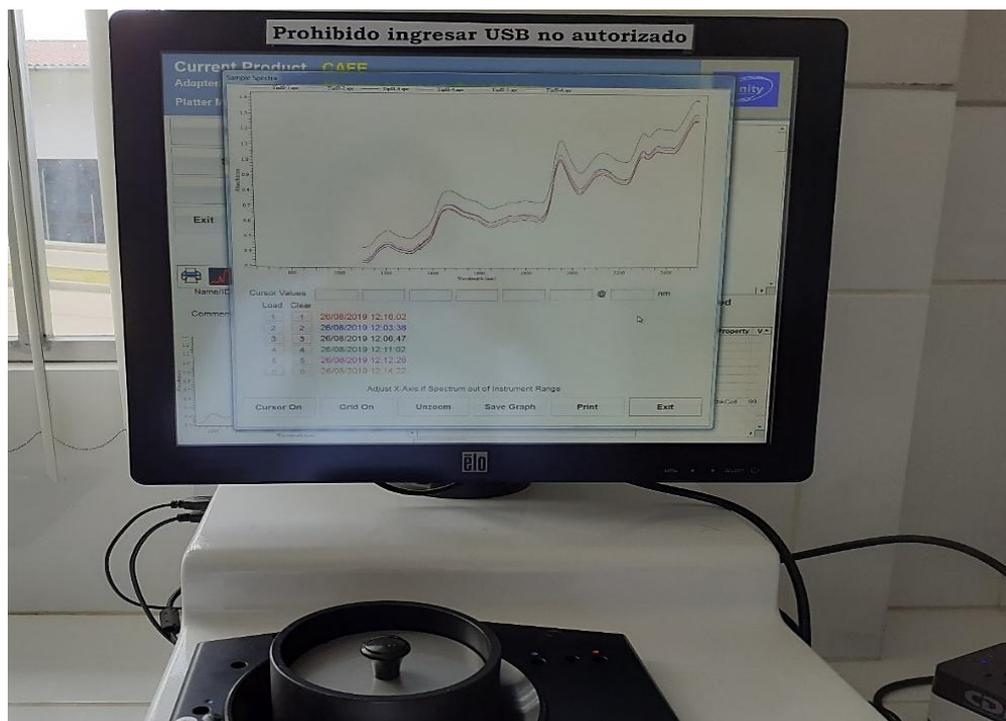


Figura 21. Resultados de las muestras de café

4.3 Establecer estadísticamente la diferencia entre los perfiles espectrales en sus diferentes bandas.

Para la presente investigación se utilizaron 4 muestras de café variedad típica con cáscara y sin cáscara, teniendo en cuenta el origen geográfico, en la tabla 3 se especifica claramente su clasificación.

Tabla 3. Clasificación de Muestras

Muestras de café	Características	Origen Geográfico
Clase 1.	Typica C/cáscara	Jaén
Clase 2.	Typica C/cáscara	San Ignacio
Clase 3.	Typica s/cáscara	Jaén
Clase 4.	Typica s/cáscara	San Ignacio

Después de la clasificación de muestras se hizo el pre procesamiento espectral, según Castro, Oblitas , Maicelo, & Himer (2018), en la mayoría de los casos, los datos espectrales extraídos contienen algo de ruido y variabilidad, para abordar esta variabilidad requiere el uso de mejora espectral, como el filtrado espectral, suavizado, normalización, centrado medio y autoescalado; es por eso que para esta investigación, los perfiles espectrales se suavizaron primero usando un filtro Savitzky-Golay de segundo grado ; donde se muestra en la siguiente ecuación:

$$Y_j^o = \frac{\sum_{i=-m}^m C_i y_{j+i}}{N}$$

Aquí, Y es el perfil original, Y_o es el perfil filtrado, C es el coeficiente para el i -ésimo término del perfil y N es el número de enteros de convolución.

Al realizar la lectura de los perfiles espectrales de cada clase de café se obtuvo la reflectancia respectivamente como se muestra en la figura 22; se observa las gráficas donde la letra “x” representa a la longitud de onda y sus límites están entre (1000 y 2500) nm y la letra “y” es la reflectancia, las diferencias se encuentran especialmente asociadas al origen geográfico y al café variedad típica con cáscara y sin cáscara.

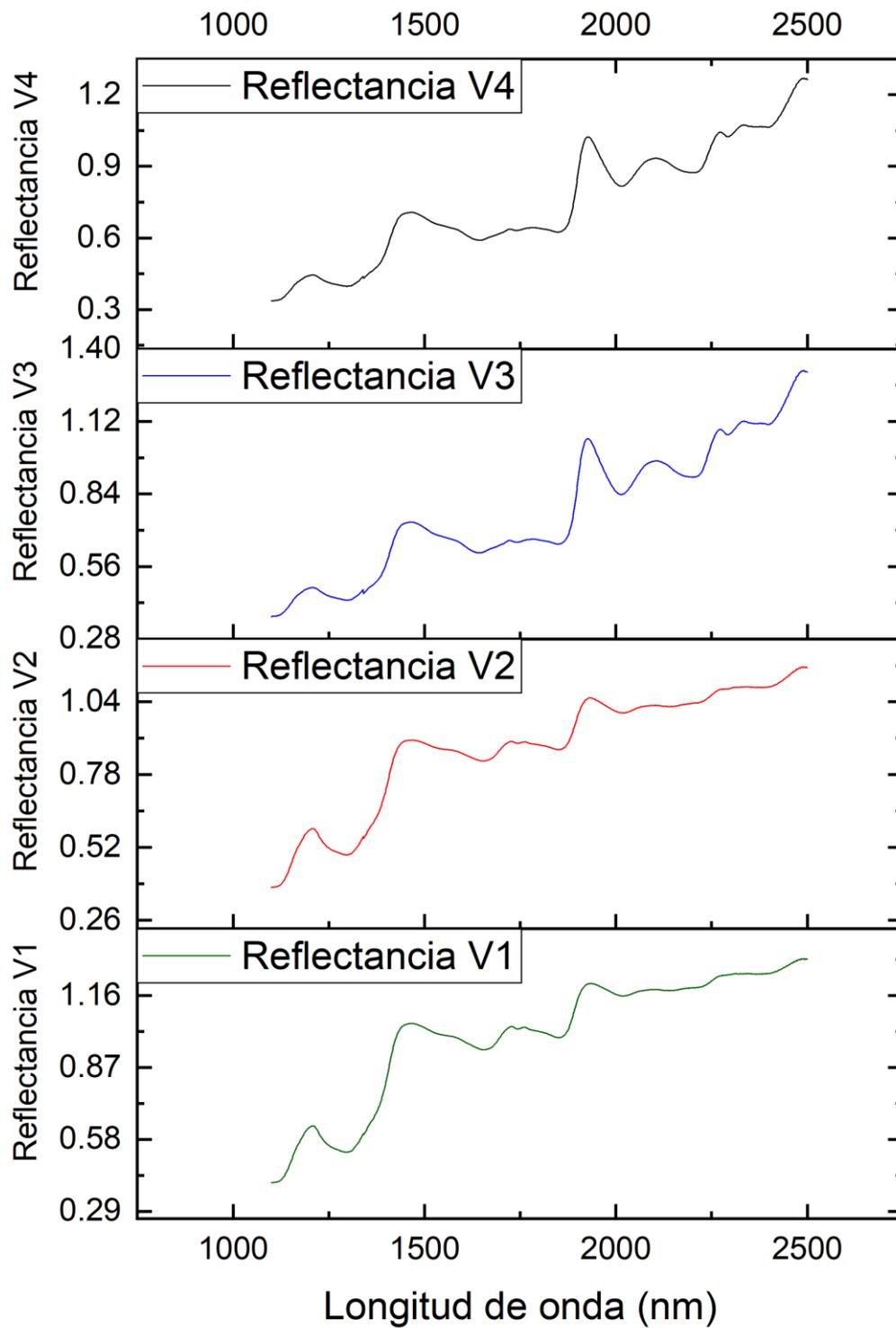


Figura 22. Espectros NIRS de las muestras de café

En la investigación de Castro, Oblitas , Maicelo, & Himer (2018); comprobaron que después de obtener los resultados, los perfiles espectrales anómalos se eliminaron utilizando un script que evalúa los valores de intensidad en cada longitud de onda y elimina aquellos cuya intensidad se desvía de la mediana en más de una desviación estándar. En esta investigación al analizar los espectros NIRS de las muestras de café; se busca separar y poder diferenciar cada una de las clases de café.

Para poder observar si los espectros NIR pueden diferenciar el café Typica en base a su zona geográfica y en base a si esta pelado o no, se analizó por medio de un sistema de comparación multivariado múltiple, los valores se muestran en la Tabla 4 donde al ser $p < 0.05$ podemos evidenciar que existe diferencia significativa entre los espectros del café.

Tabla 4. ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	57.3723	3	19.1241	339.15	0.0000
Intra grupos	315.771	5600	0.0563877		
Total (Corr.)	373.144	5603			

Asimismo, ya que existe 2 características a discriminar, las cuales son origen geográfico y con cáscara y sin ella, es importante ver si el espectro NIR discrimina entre ellas, para ello se realizó un análisis de múltiples rangos usando el modelo de discriminación de Tukey, esto observa en la tabla 5, donde observamos que las 4 muestras son significativamente diferentes, lo cual demuestra que el espectro NIR puede discriminar entre zona geográfica y si esta con cáscara.

Tabla 5. Prueba de Múltiples rangos de Tukey

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Reflectancia V4	1401	0.742507	X
Reflectancia V3	1401	0.772843	X
Reflectancia V2	1401	0.878693	X
Reflectancia V1	1401	1.00042	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Reflectancia V1 - Reflectancia 2	*	0.12173	0.0230539
Reflectancia 1 - Reflectancia 3	*	0.227581	0.0230539
Reflectancia 1 - Reflectancia 4	*	0.257917	0.0230539
Reflectancia 2 - Reflectancia 3	*	0.10585	0.0230539
Reflectancia 2 - Reflectancia 4	*	0.136187	0.0230539
Reflectancia 3 - Reflectancia 4	*	0.0303362	0.0230539

* indica una diferencia significativa.

Esto también se puede observar en el gráfico de caja y bigote de la Figura 23, donde podemos observar que existe una distribución normal la cual es adecuada para la evaluación de las 4 muestras, si bien los datos son muy cercanos el análisis estadístico nos muestra que son significativamente diferentes.

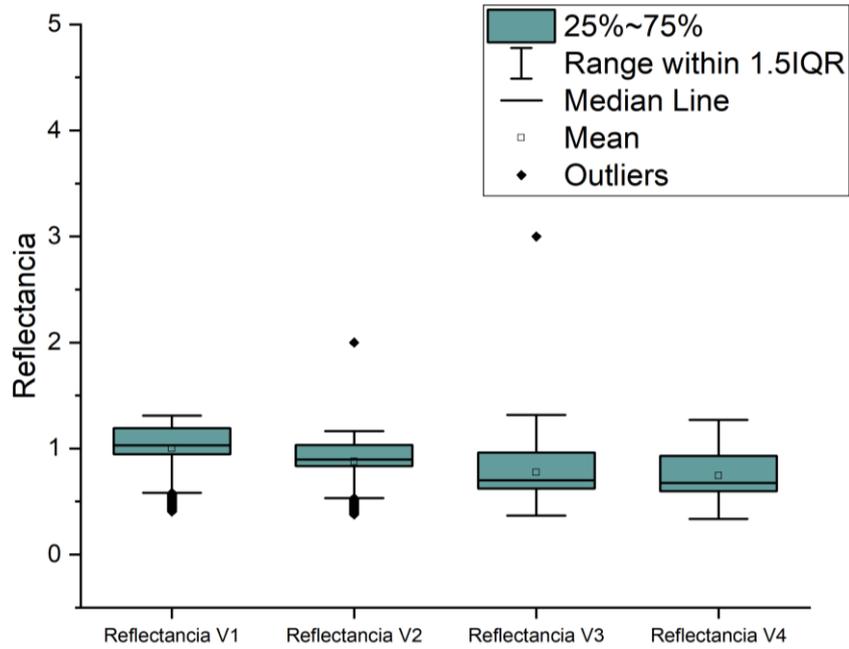


Figura 23. Diagrama de caja y Bigote de reflectancias

Otro punto importante es ver la capacidad de clasificación de las muestras usando espectroscopia NIR, para ello se realizó un análisis basado en Machine Learning, el cual busca el mejor ajuste de modelo multivariado a los datos proporcionados. Para ello se probó 24 modelos los cuales se muestran en la tabla 6, teniendo como indicador el Accuracy o nivel de precisión de los modelos, se encontró que el modelo Medium Gaussian SVM es el que mejor clasifica los datos de café proporcionados con un nivel de 87.7%.

Tabla 6. Niveles de accuracy (precisión) de entrenamiento

Modelo	Accuracy (%)
Fine Tree	80.3
Medium Tree	79.7
Coarse Tree	71.4
Linear Discriminant	80.9
Quadratic Discriminant	86.5
Gaussian Naive Bayes	72.3
Kernel Naive Bayes	73.5
Linear SVM	87.1
Quadratic SVM	86.8
Cubic SVM	87.1
Fine Gaussian SVM	88
Medium Gaussian SVM	87.7
Coarse Gaussian SVM	82.5
Fine KNN	84.9
Medium KNN	84
Coarse KNN	54.8
Cosine KNN	63.7
Cubic KNN	84
Weighted KNN	84.9
Boosted Trees	82.5
Bagged Trees	82.5
Subspace Discriminant	72.3
Subspace KNN	31.7
RUSBoosted Trees	80

Después de obtener los perfiles espectrales también se puede diseñar la matriz de confusión, es una tabla específica que permite la visualización de la ejecución de un algoritmo. Contiene información acerca de las clasificaciones actuales y las predicciones hechas por un sistema de clasificación, la matriz es n por n , donde n es el número de clases. Cada columna de la matriz representa los casos que el algoritmo predijo, mientras que cada fila representa los casos en una clase real. (Claudia, 2015),

En la figura 24. Se muestra la matriz de confusión obtenida del modelo Medium Gaussian SVM, donde se observa claramente las cuatro muestras de café, cada columna representa la clase de salida y cada fila representa la clase objetiva de cada muestra respectivamente.

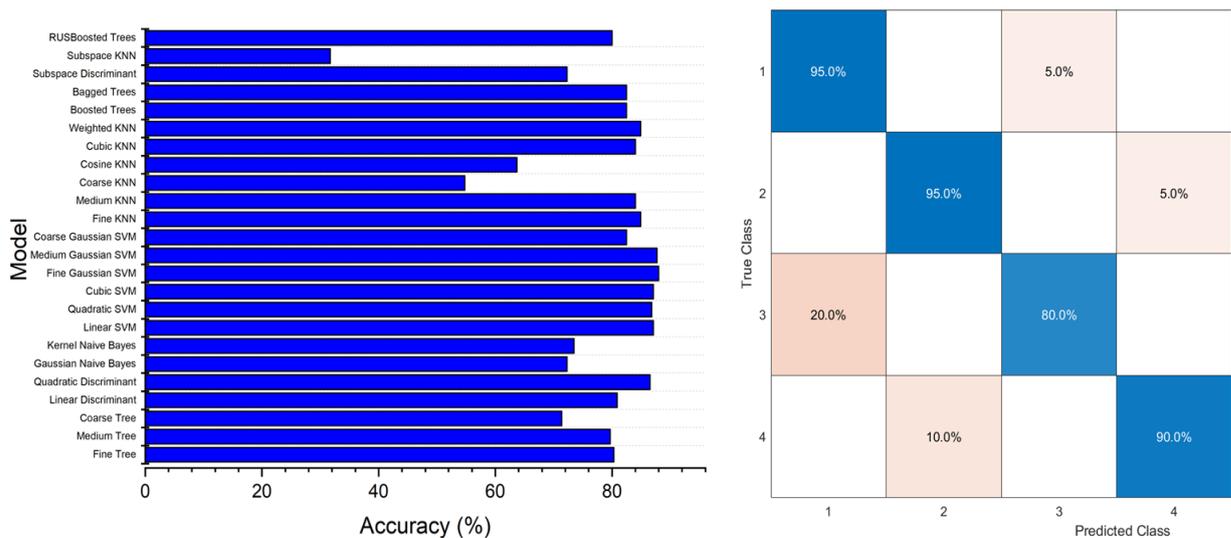


Figura 24. Matriz de confusión

En la clase uno (typica con cáscara-Jaén) se pudo clasificar en un 95%, en la clase dos (typica con cáscara-San Ignacio) se observa que se logró clasificar en un 95%, en la clase tres (Typica sin cáscara-Jaén) se clasificó en un 80% y la clase cuatro (Typica sin cáscara-San Ignacio) se clasificó en un 90%.

Finalmente, la matriz de confusión nos ayudó a mostrar la clasificación de las cuatro clases respectivamente.

Cuando se hizo la lectura de los perfiles espectrales de cada una de las muestras de café se obtuvo datos inmensos que es conocido como el big data, por lo tanto, para analizar a cada uno de ellos se aplicó el método PCA (Análisis de Componentes Principales). Este método nos permite y ayuda a la reducción de datos, agrupa en una función lineal los diferentes perfiles obtenidos y se obtiene una nueva representación de componentes principales.

Según Claudia (2015); el método de componentes principales tiene por objeto transformar un conjunto de variables, a las que se denomina originales, en un nuevo conjunto de variables denominadas componentes principales. Estas últimas se caracterizan por estar incorrelacionadas entre sí y, además, pueden ordenarse de acuerdo con la información que llevan incorporada, es, un método que permite reducir la dimensión del número de variables originales que se han

considerado en el análisis; cuando se aplicó el método se pudo obtener dos componentes principales, donde “x” representa al componente 1, “y” representa al componente 2; en la figura 25 se observa el diagrama bidimensional de dispersión de las cuatro clases de café.

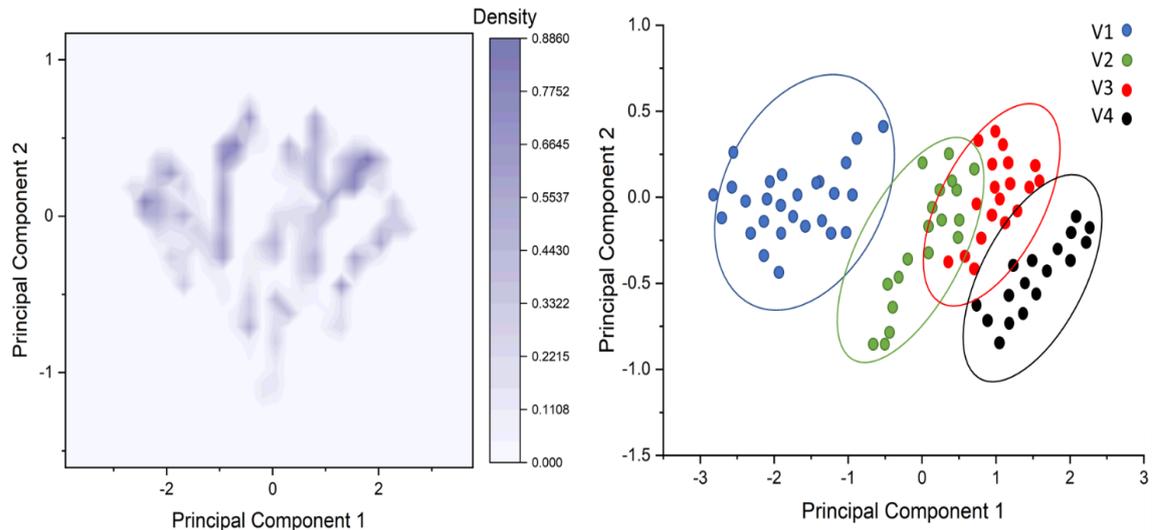


Figura 25. Diagrama de dispersión de las clases de café

En la figura 25 se muestra la reducción de toda la data, porque se ve claramente las cuatro clases de café y que se pueden diferenciar porque están dispersas una de la otra; la clase 1 (typica con cáscara-Jaén), clase 2 (typica con cáscara- San Ignacio), clase 3 (Typica sin cáscara-Jaén) y la clase 4 (Typica sin cáscara -San Ignacio).

Finalmente podemos observar que la espectroscopia NIR puede diferenciar las muestras de café por lugar geográfico y también mientras este aun con cáscara nos da la certeza de que se puede usar esta tecnología tanto a nivel de laboratorio para poder determinar la calidad de este producto y también nos muestra la posibilidad de poder incluirlo en sistemas de análisis en línea como un sensor que puede determinar calidad en un proceso de automatización de este producto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Si existe relación entre el origen geográfico, nivel de procesado y perfil NIR del café variedad típica de las cuatro muestras obtenidas en esta investigación.
- Se determinó los perfiles espectrales de las cuatro muestras obtenidas, Clase 1. Típica C/cáscara/Jaén - Clase 2. Típica C/cáscara/San Ignacio - Clase 3. Típica s/cáscara Jaén - Clase 4. Típica s/cáscara /San Ignacio; con la ayuda de un espectrómetro infrarrojo cercano Unity Scientific NIRS (SpectraStar 2500XL, EE.UU.) equipada con lámpara halógena de tungsteno como fuente de luz y detector InGaAs (Indio – Galio – Arsénico) en el rango de 1100 y 2500 nm, con una resolución de 1 nm, en la figura 22 se observa claramente las gráficas obtenidas de cada muestra que representan la reflectancia respectivamente, de manera rápida y precisa.
- En el análisis de múltiples rangos donde se comprueba que las muestras son diferentes, también en la gráfica de caja y bigote se observa que existe una distribución normal a pesar que los datos son muy cercanos, el análisis estadístico establece que las muestras son diferentes y el análisis basado en Machine Learning se encontró que el modelo Medium Gaussian SUM es el que mejor clasifica a los datos de café proporcionados en un 87,7%, en la matriz de confusión nos ayudó a demostrar la clasificación de las cuatro muestras; en la clase uno (típica con cáscara-Jaén) se pudo clasificar en un 95%, en la clase dos (típica con cáscara-San Ignacio) se observa que se logró clasificar en un 95%, en la clase tres (Típica sin cáscara-Jaén) se clasificó en un 80% y la clase cuatro (Típica sin cáscara-San Ignacio) se clasificó en un 90%. y finalmente en el diagrama de dispersión bidimensional se muestra la reducción de toda la data porque las cuatro muestras están dispersas una de la otra, por lo tanto en esta investigación se logró diferenciar estadísticamente los perfiles espectrales de las cuatro muestras de café.

RECOMENDACIONES

- Se debe utilizar el método analítico NIRS en las futuras investigaciones sobre el café, donde se podría demostrar si existe diferencia en el nivel de cafeína de acuerdo a las variedades de café, NIRS es una herramienta útil para el investigador, permite obtener resultados rápidos y precisos de bajo costo.
- Realizar futuras investigaciones en diferentes alimentos, la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) supera los métodos físicos y químicos clásicos con las ventajas de la velocidad analítica rápida, la operación fácil y las mediciones no destructivas para detectar las cualidades de los productos, por ejemplo se puede usar para determinar el contenido de sólidos solubles (SSC) y la firmeza de las frutas, como la pera, la fresa, el kiwi, grape y melón, también es un método de clasificación como se comprobó en esta investigación.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (Normas CATIE/IICA)

ALFARO, V. (2016). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL CAFÉ. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1779/J11-P32>

Acierno, V., Alewijn, M., Zomer, P., & van Ruth, S. M. (2018). Making cocoa origin traceable: Fingerprints of chocolates using Flow Infusion - Electro Spray Ionization - Mass Spectrometry. *Food Control*, Vol. 85, pp. 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.10.002>

Amodio, M. L., Ceglie, F., Chaudhry, M. M. A., Piazzolla, F., & Colelli, G. (2017). Potential of NIR spectroscopy for predicting internal quality and discriminating among strawberry fruits from different production systems. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 125, pp. 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.11.013>

Cafè, O. M. (2011). *Espectroscopia de infrarrojo cercano*. Universidad de la Rioja, 1.

Calvini, R., Amigo, J. M., & Ulrici, A. (2015). Transferring results from NIR-hyperspectral to NIR-multispectral imaging: A filter-based simulation applied to the classification of Arabica and Robusta green coffee beans. *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the International Conference*. <https://doi.org/10.17648/nir-2015-34178>

Cao, F., Wu, D., & He, Y. (2010). Soluble solids content and pH prediction and varieties discrimination of grapes based on visible–near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 71, pp. S15–S18. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.05.011>

Casale, M., Zunin, P., Cosulich, M. E., Pistarino, E., Perego, P., & Lanteri, S. (2010). Characterisation of table olive cultivar by NIR spectroscopy. *Food Chemistry*, Vol. 122, pp. 1261–1265. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.03.080>

Castro, W., Oblitas, J., Maicelo, J., & Himer, G. (2018). Evaluación de técnicas de sistemas expertos para clasificar diferentes etapas de la infección por óxido de café en imágenes hiperespectrales. *Revista Internacional de Sistemas de Inteligencia Computacional*, 86-100.

Colonna-Dashwood, M. (2017). *The Coffee Dictionary: An A-Z of coffee, from growing & roasting to brewing & tasting*. Hachette UK.

Cozzolino. (marzo de 2008). Uso de espectroscopia del infrarrojo cercano. Obtenido de <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/VOL6/2/p25-32.pdf>

Díaz, A., Silva, M., & Dávila, J. (2018). Relationship between good hygiene practices and ochratoxin A in organic coffee (*Coffea arabica* L.) from the main coffee regions in Peru. *Scientia Agropecuaria*, Vol. 9, pp. 177–187. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.02>

Dryden. (2003). *Near Infrared Reflectance Spectroscopy*. Obtenido de *Applications in Deer Nutrition*, University of Queensland: Australia: <http://www.cipav.org.co/pdf/NIRS.pdf>

Dybkowska, E., Sadowska, A., Rakowska, R., Dębowska, M., Świdorski, F., & Świąder, K. (2017). Assessing polyphenols content and antioxidant activity in coffee beans according to origin and the degree of roasting. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 68(4), 347–353.

Esteki, M., Shahsavari, Z., & Simal-Gandara, J. (2018). Use of spectroscopic methods in combination with linear discriminant analysis for authentication of food products. *Food Control*, Vol. 91, pp. 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.03.031>

Feng, X., Dong, H., Yang, P., Yang, R., Lu, J., Lv, J., & Sheng, J. (2016). Culture-Dependent and -Independent Methods to Investigate the Predominant Microorganisms Associated with Wet Processed Coffee. *Current Microbiology*, 73(2), 190–195.

Herrera, J. C., & Lambot, C. (2017). *The Coffee Tree—Genetic Diversity and Origin*. *The Craft and Science of Coffee*, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803520-7.00001-3>

He, Y., Li, X., & Deng, X. (2007). Discrimination of varieties of tea using near infrared spectroscopy by principal component analysis and BP model. *Journal of Food Engineering*, Vol. 79, pp. 1238–1242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.042>

- Hidalgo, F. G. (2017). Presentación revista De Computis, volumen 14, número 27 (diciembre, 2017). De Computis - Revista Española de Historia de La Contabilidad, Vol. 14, p. 2. <https://doi.org/10.26784/issn.1886-1881.v14i27.311>
- Hulupi, R., Nugroho, D., & . Y. (2013). Performance of Some Arabica Coffee Local Varieties from Gayo Highland. Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal), Vol. 29. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v29i2.55>
- Jimaré. (2008). Aplicaciones de la espectrometría de absorción en el infrarrojo cercano al análisis de biocombustibles y al análisis de alimentos. Química y Medio Ambiente, 10.
- Lizárraga, A. (2016). Agroforestry coffee system with rainforest alliance certification and insect biodiversity in Villa Rica, Peru. 2016 International Congress of Entomology. <https://doi.org/10.1603/ice.2016.106114>
- Melke, A., & Itana, F. (2014). Nutritional Requirement and Management of Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia: National and Global Perspectives. American Journal of Experimental Agriculture, Vol. 5, pp. 400–418. <https://doi.org/10.9734/ajea/2015/12510>
- Peña. (2012). La espectroscopia y su desarrollo como herramienta didáctica para comprender la estructura de la materia. Obtenido de tesis de maestría: <http://www.cipav.org.co/pdf/NIRS.pdf>
- Prakash, N. S., Surya Prakash, N., Central Coffee Research Institute, & India. (2018). Developing varieties of Robusta coffee. Achieving Sustainable Cultivaiton of Coffee, pp. 115–138. <https://doi.org/10.19103/as.2017.0022.06>
- Ruben, R., & Fort, R. (2012). The Impact of Fair Trade Certification for Coffee Farmers in Peru. World Development, Vol. 40, pp. 570–582. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.07.030>
- Sberveglieri, V., Concina, I., Falasconi, M., Ongo, E., Pulvirenti, A., Fava, P., & Gouma, P. (2011). Identification Of Geographical Origin Of Coffee Before And After Roasting By Electronic Noses. <https://doi.org/10.1063/1.3626316>

Siu, Y., Mejia, G., Mejia-Saavedra, J., Pohlan, J., & Sokolov, M. (2007). Heavy metals in wet method coffee processing wastewater in Soconusco, Chiapas, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 78(5), 400–404.

Suarez-Quiroz, M., Gonzalez-Rios, O., Barel, M., Guyot, B., Schorr-Galindo, S., & Guiraud, J.-P. (2005). Effect of the post-harvest processing procedure on OTA occurrence in artificially contaminated coffee. *International Journal of Food Microbiology*, 103(3), 339–345.

Suhandy, D., & Yulia, M. (2018). The classification of arabica gayo wine coffee using UV-visible spectroscopy and PCA-DA method. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 197, p. 09002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819709002>

Weber, J. G. (2012). Social learning and technology adoption: the case of coffee pruning in Peru. *Agricultural Economics*, Vol. 43, pp. 73–84. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2012.00621.x>

Xie, L., Ying, Y., & Ying, T. (2009). Classification of tomatoes with different genotypes by visible and short-wave near-infrared spectroscopy with least-squares support vector machines and other chemometrics. *Journal of Food Engineering*, Vol. 94, pp. 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.023>

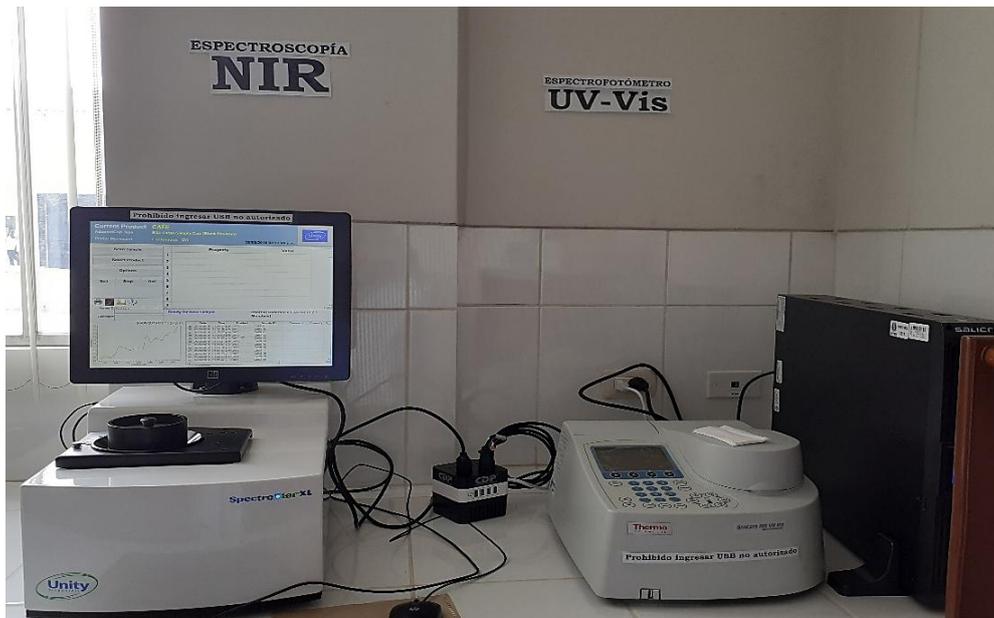
Hulupi, R., Nugroho, D., & Y. (2013). Performance of Some Arabica Coffee Local Varieties from Gayo Highland. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, Vol. 29. <https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v29i2.55>

CAPÍTULO VII

ANEXO O APENDICE

7.1 ANEXO 1. Fotografías del proceso de investigación

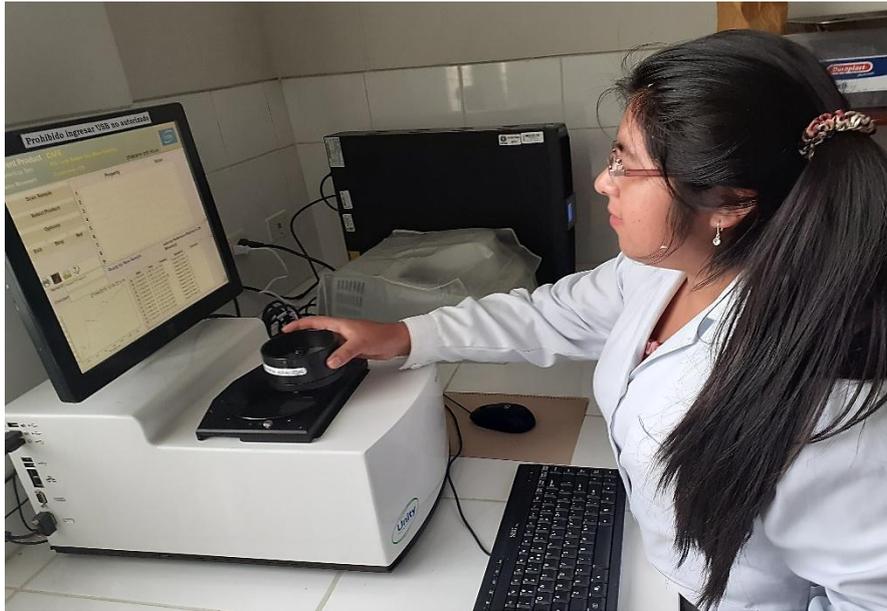
- **Equipo NIR que se utilizo en la investigación**



SpectraStar 2500XL, EE.UU



Pesado de muestra



Analizando muestra de café

- Imágenes de los perfiles espectrales de las muestras de café en excel

Pos	Muestra	Clase	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1111
1	CAJAEN-1	1	0,32033947	0,32051086	0,32054126	0,32062697	0,32077575	0,32078037	0,32100135	0,32104468	0,32111233	0,32120883	0,32148769	0,32172143	0,32192513	0,32210499
2	CAJAEN-10	1	0,33527175	0,33544213	0,33552435	0,33548674	0,33555189	0,33558482	0,33570313	0,33578765	0,33581579	0,33591852	0,33619252	0,33647665	0,33660790	0,33675588
3	CAJAEN-11	1	0,32108909	0,32123411	0,32125363	0,32130533	0,32135522	0,32140678	0,32149574	0,32158220	0,32159078	0,32169610	0,32200572	0,32220170	0,32238594	0,32252070
4	CAJAEN-12	1	0,32629180	0,32643247	0,32646635	0,32661512	0,32669482	0,32676804	0,32685930	0,32699046	0,32710484	0,32715800	0,32736838	0,32766041	0,32783487	0,32810077
5	CAJAEN-13	1	0,32987809	0,32985777	0,33002543	0,33016619	0,33023128	0,33031282	0,33041745	0,33052191	0,33071822	0,33076391	0,33102918	0,33123139	0,33142996	0,33171322
6	CAJAEN-14	1	0,33423805	0,33437538	0,33435106	0,33447847	0,33460763	0,33467567	0,33479354	0,33492282	0,33502629	0,33506629	0,33530906	0,33554333	0,33569431	0,33598888
7	CAJAEN-15	1	0,34129092	0,34141558	0,34146205	0,34160724	0,34175372	0,34178662	0,34191763	0,34200126	0,34205309	0,34215793	0,34240770	0,34259346	0,34284952	0,34309499
8	CAJAEN-16	1	0,33529672	0,33539924	0,33542979	0,33560601	0,33567789	0,33575517	0,33585641	0,33599597	0,33610854	0,33621380	0,33641270	0,33664647	0,33687460	0,33708200
9	CAJAEN-17	1	0,31698492	0,31706357	0,31710073	0,31724703	0,31739029	0,31742999	0,31757325	0,31771982	0,31780544	0,31792930	0,31813231	0,31834608	0,31858432	0,31881544
10	CAJAEN-18	1	0,32098857	0,32102472	0,32105616	0,32117844	0,32128611	0,32138088	0,32150626	0,32156882	0,32169473	0,32180181	0,32196292	0,32221025	0,32236129	0,32265722
11	CAJAEN-19	1	0,32775909	0,32782364	0,32788649	0,32803091	0,32809660	0,32812583	0,32830024	0,32832062	0,32846674	0,32851300	0,32873684	0,32890663	0,32913750	0,32937344
12	CAJAEN-2	1	0,33464685	0,33475655	0,33475935	0,33493865	0,33498886	0,33502367	0,33516368	0,33519381	0,33526239	0,33538949	0,33559549	0,33579999	0,33603877	0,33624500
13	CAJAEN-20	1	0,31718418	0,31726912	0,31736422	0,31745857	0,31758821	0,31765229	0,31771362	0,31784859	0,31800589	0,31804636	0,31833124	0,31853628	0,31876773	0,31900662
14	CAJAEN-3	1	0,31998733	0,32011598	0,32010093	0,32025650	0,32036656	0,32041776	0,32048267	0,32059646	0,32075813	0,32082948	0,32103863	0,32121328	0,32148755	0,32167633
15	CAJAEN-4	1	0,35811877	0,35820702	0,35817468	0,35836431	0,35839260	0,35838673	0,35845664	0,35850745	0,35861912	0,35865250	0,35888225	0,35902274	0,35923758	0,35944066
16	CAJAEN-5	1	0,33224949	0,33241510	0,33243588	0,33252811	0,33255282	0,33260825	0,33275217	0,33278933	0,33288941	0,33293957	0,33332098	0,33350530	0,33367616	0,33383600
17	CAJAEN-6	1	0,31796774	0,31808662	0,31813261	0,31826189	0,31831592	0,31834272	0,31843415	0,31851307	0,31862295	0,31868419	0,31891915	0,31914127	0,31932220	0,31952722
18	CAJAEN-7	1	0,33251047	0,33261225	0,33267519	0,33281240	0,33299437	0,33306780	0,33318052	0,33337006	0,33345351	0,33354881	0,33374092	0,33394414	0,33421296	0,33449300
19	CAJAEN-8	1	0,32643762	0,32651061	0,32659316	0,32667840	0,32674828	0,32676709	0,32693872	0,32705140	0,32712221	0,32719949	0,32746372	0,32766140	0,32792228	0,32813244
20	CAJAEN-9	1	0,33125561	0,33144173	0,33148292	0,33158377	0,33173499	0,33174947	0,33189282	0,33206648	0,33215895	0,33228925	0,33250666	0,33275640	0,33292473	0,33319266
21	CatSI-1	2	0,32208788	0,32214844	0,32218063	0,32222006	0,32227233	0,32228518	0,32232910	0,32231429	0,32238778	0,32250530	0,32269374	0,32283257	0,32295963	0,32315655

Tabla de perfiles espectrales

	BAL	BAM	BAN	BAO	BAP	BAQ	BAR	BAS	BAT	BAU	BAV	BAW	BAX	BAY	BAZ	BBA	BBB
1																	
2																	
3	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500		
4	1,25804842	1,25849164	1,25712335	1,26068807	1,26108754	1,26282763	1,26196980	1,26122808	1,26056194	1,25678575	1,25855017	1,26018310	1,25798368	1,25669634	1,25536537		
5	1,30259621	1,30254865	1,30237269	1,30270374	1,30445457	1,30379534	1,30410802	1,30341041	1,30043149	1,30105436	1,30007696	1,30089092	1,30184186	1,30398822	1,29650962		
6	1,29410028	1,29497969	1,29469967	1,29575169	1,29639220	1,29848003	1,29614151	1,29581821	1,29489923	1,29311446	1,29385996	1,29570961	1,29360819	1,29523993	1,28868437		
7	1,29318440	1,29176021	1,29132628	1,29321539	1,29518700	1,29619670	1,29804492	1,29503620	1,29155290	1,28918922	1,29122245	1,29320586	1,29042280	1,28935075	1,28768277		
8	1,28040409	1,28789080	1,27883780	1,28091478	1,28242469	1,28410447	1,28241301	1,28224480	1,28077781	1,27919388	1,28058553	1,28189623	1,27961195	1,27825499	1,27753043		
9	1,29490995	1,29388571	1,29242945	1,29688382	1,29725504	1,29730761	1,29697323	1,29654133	1,29282749	1,29294348	1,29556394	1,29583836	1,29629171	1,29377675	1,29062748		
10	1,31947410	1,31786323	1,31469452	1,31695056	1,32013130	1,31860328	1,31948996	1,31805313	1,31438673	1,31383610	1,31489527	1,31580400	1,31534922	1,31326342	1,31189024		
11	1,32268786	1,32379222	1,31966412	1,32298744	1,32427835	1,32386112	1,32541752	1,32533824	1,32082236	1,32135963	1,32236385	1,32232618	1,32205474	1,32082891	1,31621361		
12	1,30237627	1,30004787	1,30084980	1,30069780	1,30229378	1,30450892	1,30465245	1,30169821	1,30055523	1,30048788	1,30046058	1,30252290	1,30150950	1,30046773	1,29596531		
13	1,28386688	1,28314781	1,28136075	1,28492117	1,28588867	1,28706753	1,28570330	1,28523111	1,28380370	1,28340626	1,28414333	1,28308272	1,28297341	1,28159928	1,27746534		
14	1,28603196	1,28362775	1,28444028	1,28519702	1,28611314	1,28809786	1,28692174	1,28729260	1,28368461	1,28304350	1,28371239	1,28352070	1,28469598	1,28256881	1,28185248		
15	1,31867433	1,31515825	1,31272256	1,31375706	1,31608355	1,31835747	1,31630754	1,31514776	1,31400359	1,31279957	1,31608689	1,31398714	1,31411624	1,31416714	1,31055236		
16	1,29275405	1,29602158	1,29220855	1,29428446	1,29656458	1,29520524	1,29548919	1,29509640	1,29270601	1,29029357	1,29141033	1,29237449	1,29263055	1,29205382	1,28841710		
17	1,27577794	1,27381516	1,27585065	1,27699900	1,27855244	1,27695155	1,27664351	1,27581501	1,27315879	1,27342343	1,27409744	1,27337372	1,27521181	1,27519071	1,27151263		
18	1,33312285	1,33152759	1,33255446	1,33149660	1,33450890	1,33482671	1,33291030	1,33445537	1,33118916	1,33063078	1,33057952	1,33020067	1,32978642	1,32996941	1,32717776		
19	1,29313052	1,29160190	1,29160190	1,29259753	1,29347122	1,29427409	1,29401004	1,29401577	1,29118931	1,28986382	1,28909910	1,28976285	1,29068196	1,29086506	1,28601837		
20	1,27428144	1,27116299	1,27056718	1,27177884	1,27404737	1,27527905	1,27584970	1,27437997	1,27333307	1,27059603	1,27008355	1,27184749	1,27159941	1,27385676	1,26831126		
21	1,29119766	1,29148853	1,29000628	1,29153264	1,29427111	1,29409969	1,29531133	1,29323697	1,29046321	1,28747666	1,28816557	1,29020762	1,29159021	1,28731811	1,28508914		
22	1,26951540	1,27017891	1,26868069	1,27279651	1,27121818	1,27283752	1,27330828	1,27197957	1,26951408	1,26743710	1,26847649	1,26893222	1,26918709	1,26812363	1,26614785		
23	1,30166221	1,29921746	1,29899561	1,30098379	1,30521631	1,30260849	1,30404758	1,30249226	1,29882610	1,29679286	1,29860985	1,29848683	1,30077322	1,29824825	1,29372764		

Tabla de perfiles espectrales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
24	21	CatSI-1	2	0,32208788	0,32214844	0,32218063	0,32222006	0,32227233	0,32228518	0,32232910	0,32231429	0,32238778	0,32250530	0,32269374	0,32283297	0,32295963	0,3231565
25	22	CatSI-10	2	0,33416945	0,33425492	0,33428964	0,33425882	0,33429027	0,33428305	0,33428833	0,33436185	0,33442482	0,33447811	0,33457643	0,33480144	0,33488175	0,3350710
26	23	CatSI-11	2	0,33162090	0,33171797	0,33173266	0,33169723	0,33173704	0,33178315	0,33172768	0,33183265	0,33191955	0,33200312	0,33217195	0,33233520	0,33247292	0,3325670
27	24	CatSI-12	2	0,33842087	0,33852741	0,33855435	0,33855170	0,33859852	0,33859378	0,33864942	0,33868903	0,33878282	0,33886161	0,33903435	0,33929867	0,33941433	0,3395547
28	25	CatSI-13	2	0,32824719	0,32846871	0,32847187	0,32846737	0,32858375	0,32857955	0,32859445	0,32874399	0,32880816	0,32887724	0,32904044	0,32924771	0,32943997	0,3295935
29	26	CatSI-14	2	0,34529030	0,34545550	0,34547982	0,34551308	0,34549329	0,34558156	0,34559360	0,34569561	0,34576231	0,34585622	0,34600490	0,34622759	0,34635061	0,3465448
30	27	CatSI-15	2	0,34343672	0,34358981	0,34364989	0,34360793	0,34364301	0,34363759	0,34370238	0,34376931	0,34380540	0,34392625	0,34404761	0,34432563	0,34439129	0,344576
31	28	CatSI-16	2	0,35494635	0,35508582	0,35515141	0,35518077	0,35520995	0,35519055	0,35525048	0,35528159	0,35536402	0,35543391	0,35559529	0,35579789	0,35593775	0,356090
32	29	CatSI-17	2	0,33004186	0,33016047	0,33021432	0,33023670	0,33018047	0,33022514	0,33024189	0,33035305	0,33034265	0,33048576	0,33060434	0,33079016	0,33090752	0,3310633
33	30	CatSI-18	2	0,34686044	0,34704441	0,34707704	0,34708187	0,34706318	0,34704983	0,34709555	0,34714270	0,34720784	0,34728849	0,34745133	0,34769416	0,34782642	0,3479189
34	31	CatSI-19	2	0,33106074	0,33120310	0,33124232	0,33126473	0,33126226	0,33130616	0,33131406	0,331338561	0,33145580	0,33154202	0,33167559	0,33189085	0,33202910	0,3321624
35	32	CatSI-2	2	0,34745076	0,34742185	0,34750518	0,34752598	0,34754598	0,34756991	0,34757811	0,34763360	0,34771526	0,34778571	0,34801999	0,34810534	0,34829524	0,3484985
36	33	CatSI-20	2	0,33069426	0,33077434	0,33084574	0,33076510	0,33081239	0,33081996	0,33087358	0,33088458	0,33096245	0,33102036	0,33119431	0,33136386	0,33149594	0,3316067
37	34	CatSI-3	2	0,32907909	0,32918099	0,32927179	0,32932350	0,32934731	0,32941842	0,32944030	0,32949930	0,32961950	0,32964799	0,32988241	0,33007738	0,33018523	0,3303869
38	35	CatSI-4	2	0,34167603	0,34179094	0,34184411	0,34186414	0,34193492	0,34205025	0,34203845	0,34214190	0,34220654	0,34228614	0,34249359	0,34274673	0,34286258	0,3430577
39	36	CatSI-5	2	0,45321414	0,45324972	0,45331240	0,45334825	0,45333940	0,45342895	0,45345643	0,45350373	0,45366213	0,45395755	0,45375973	0,45394352	0,45412409	0,4543669
40	37	CatSI-6	2	0,34008878	0,34004915	0,34013548	0,34010315	0,34010807	0,34011987	0,34015825	0,34015769	0,34030202	0,34032226	0,34044954	0,34059393	0,34082553	0,3409649
41	38	CatSI-7	2	0,34808764	0,34812170	0,34816611	0,34827599	0,34831700	0,34836391	0,34836257	0,34848395	0,34848091	0,34854621	0,34876144	0,34895191	0,34913388	0,3493723
42	39	CatSI-8	2	0,34059948	0,34063497	0,34072128	0,34077153	0,34079325	0,34081477	0,34081817	0,34087792	0,34100720	0,34106186	0,34122357	0,34141907	0,34155533	0,3417538
43	40	CatSI-9	2	0,31796789	0,31798330	0,31803572	0,31807944	0,31808844	0,31811044	0,31810591	0,31818157	0,31823248	0,31826752	0,31845981	0,31864822	0,31876981	0,3188993
44	41	TipSI-1	3	0,31861928	0,31873941	0,31886008	0,31889403	0,31888645	0,31887209	0,31893981	0,31906852	0,31916583	0,31931537	0,31962815	0,32009965	0,3203438	
45	42	TipSI-10	3	0,42916247	0,42919734	0,42942798	0,42947772	0,42953527	0,42961121	0,42968312	0,42977300	0,42991763	0,43000374	0,43019247	0,43042782	0,43064037	0,4308602
46	43	TipSI-11	3	0,33526245	0,33535704	0,33543587	0,33561268	0,33574867	0,33581921	0,33587778	0,33605838	0,33624759	0,33633491	0,33652574	0,33673817	0,33702138	0,3372625

Tabla de perfiles espectrales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
46	43	TipSI-11	3	0,33526245	0,33535704	0,33543587	0,33561268	0,33574867	0,33581921	0,33587778	0,33605838	0,33624759	0,33633491	0,33652574	0,33673817	0,33702138	0,3372625
47	44	TipSI-12	3	0,43568131	0,43575296	0,43579227	0,43593645	0,43601054	0,43604752	0,43610746	0,43613276	0,43635190	0,43648896	0,43662083	0,43680769	0,43697909	0,4372906
48	45	TipSI-13	3	0,45020342	0,45025992	0,45038983	0,45048541	0,45050737	0,45050147	0,45056731	0,45069987	0,45077100	0,45088977	0,45107991	0,45124066	0,45144460	0,4516785
49	46	TipSI-14	3	0,31684580	0,31689557	0,31694150	0,31712443	0,31714639	0,31725767	0,31731492	0,31741160	0,31759706	0,31766120	0,31787020	0,31805658	0,31827596	0,3185085
50	47	TipSI-15	3	0,47050056	0,47049212	0,47064263	0,47071370	0,47077641	0,47091049	0,47090656	0,47100413	0,47121787	0,47127444	0,47151092	0,47177801	0,47197521	0,4722219
51	48	TipSI-16	3	0,34452036	0,34462154	0,34473002	0,34483495	0,34493309	0,34498158	0,34511477	0,34523544	0,34538537	0,34551319	0,34573635	0,34598762	0,34621671	0,3464649
52	49	TipSI-17	3	0,46242803	0,46243221	0,46258911	0,46256158	0,46266261	0,46267542	0,46276009	0,46288213	0,46297804	0,46302739	0,46322700	0,46348795	0,46363804	0,4638952
53	50	TipSI-18	3	0,35065889	0,35075703	0,35088554	0,35099462	0,35115349	0,35120174	0,35131422	0,35142544	0,35160273	0,35174942	0,35193521	0,35214666	0,35241988	0,3526555
54	51	TipSI-19	3	0,35125625	0,35130921	0,35142145	0,35151520	0,35153437	0,35175541	0,35174277	0,35187772	0,35202485	0,35215273	0,35233900	0,35254002	0,35274601	0,35300111
55	52	TipSI-2	3	0,33774197	0,33798471	0,33805084	0,33808473	0,33810782	0,33811805	0,33820239	0,33835268	0,33843905	0,33861431	0,33899137	0,33927707	0,33954532	0,3396493
56	53	TipSI-20	3	0,31246439	0,31249934	0,31263313	0,31276688	0,31286368	0,31292731	0,31301048	0,31306273	0,31320384	0,31331533	0,31349391	0,31373423	0,31393129	0,3142068
57	54	TipSI-3	3	0,32398242	0,32415381	0,32426348	0,32432199	0,32438415	0,32438591	0,32445559	0,32463616	0,32477710	0,32493159	0,32520014	0,32557559	0,32576743	0,3259604
58	55	TipSI-4	3	0,42837575	0,42838365	0,42845121	0,42846808	0,42847905	0,42843920	0,42850059	0,42867005	0,42871162	0,42886418	0,42912599	0,42944315	0,42959270	0,4297891
59	56	TipSI-5	3	0,34035230	0,34058088	0,34060454	0,34075692	0,34075385	0,34076488	0,34084579	0,34103653	0,34108898	0,34125951	0,34155196	0,34192798	0,34212235	0,3423313
60	57	TipSI-6	3	0,35232407	0,35251945	0,35259286	0,35264790	0,35264191	0,35271558	0,35277525	0,35288921	0,35298905	0,35313025	0,35340452	0,35372978	0,35396436	0,3541288
61	58	TipSI-7	3	0,32293594	0,32307756	0,32324734	0,32335153	0,32333231	0,32334810	0,32352588	0,32357922	0,32367873	0,32387927	0,32422101	0,32454389	0,32475185	0,3248960
62	59	TipSI-8	3	0,32225144	0,32226560	0,32237622	0,32250908	0,32248917	0,32263902	0,32268900	0,32278004	0,32290587	0,32305488	0,32323310	0,32338387	0,32359481	0,3238543
63	60	TipSI-9	3	0,33147404	0,33151504	0,33165562	0,33181319	0,33182880	0,33190855	0,33200386	0,33207318	0,33224037	0,33238578	0,33257225	0,33280808	0,33297804	0,3332635
64	61	TYJAEN-1	4	0,33738285	0,33752522	0,33758020	0,33766794	0,33772475	0,33784032	0,33790243	0,33797169	0,33809939	0,33817983	0,33836740	0,33852902	0,33872890	0,3389268
65	62	TYJAEN-10	4	0,33884752	0,33889487	0,33894944	0,33901086	0,33903748	0,33908728	0,33918694	0,33928391	0,33934799	0,33940968	0,33950147	0,33967519	0,33988768	0,3401081
66	63	TYJAEN-11	4	0,34547782	0,34554866	0,34562591	0,34567460	0,34576681	0,34579760	0,34585708	0,34598798	0,34602705	0,34609032	0,34625128	0,34643388	0,34661844	0,3467953
67	64	TYJAEN-12	4	0,34204713	0,34220043	0,34228948	0,34232694	0,34241429	0,34247875	0,34261054	0,34271619	0,34281820	0,34289142	0,34307614	0,34328035	0,34346628	0,3436773
68	65	TYJAEN-13	4	0,34985658	0,34991789	0,34997723	0,35002232	0,35017020	0,35018447	0,35024807	0,35034183	0,35045743	0,35052392	0,35070556	0,3508867	0,35106435	0,3512426

Tabla de perfiles espectrales

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
62	59	TipSI-8	3	0,32225144	0,32226560	0,32237622	0,32250908	0,32248917	0,32263902	0,32268900	0,32278004	0,32290587	0,32305488	0,32323310	0,32338387	0,32359481	0,3238543
63	60	TipSI-9	3	0,33147404	0,33151504	0,33165562	0,33181319	0,33182880	0,33190855	0,33200386	0,33207318	0,33224037	0,33238578	0,33257225	0,33280808	0,33297804	0,3332635
64	61	TYJAEN-1	4	0,33738285	0,33752522	0,33758020	0,33766794	0,33772475	0,33784032	0,33790243	0,33797169	0,33809939	0,33817983	0,33836740	0,33852902	0,33872890	0,3389268
65	62	TYJAEN-10	4	0,33884752	0,33889487	0,33894944	0,33901086	0,33903748	0,33908728	0,33918694	0,33928391	0,33934799	0,33940968	0,33950147	0,33967519	0,33988768	0,3401081
66	63	TYJAEN-11	4	0,34547782	0,34554866	0,34562591	0,34567460	0,34576681	0,34579760	0,34585708	0,34598798	0,34602705	0,34609032	0,34625128	0,34643388	0,34661844	0,3467953
67	64	TYJAEN-12	4	0,34204713	0,34220043	0,34228948	0,34232694	0,34241429	0,34247875	0,34261054	0,34271619	0,34281820	0,34289142	0,34307614	0,34328035	0,34346628	0,3436773
68	65	TYJAEN-13	4	0,34985658	0,34991789	0,34997723	0,35002232	0,35017020	0,35018447	0,35024807	0,35034183	0,35045743	0,35052392	0,35070556	0,3508867	0,35106435	0,3512426
69	66	TYJAEN-14	4	0,31730810	0,31744111	0,31751958	0,31760877	0,31772920	0,31782386	0,31792107	0,31800124	0,31815574	0,31823745	0,31843251	0,31862938	0,31884855	0,3190711
70	67	TYJAEN-15	4	0,32500783	0,32510945	0,32518429	0,32524502	0,32539070	0,32539156	0,32554287	0,32561073	0,32578978	0,32596725	0,32620296	0,32638010	0,3266371	0,3268671
71	68	TYJAEN-16	4	0,32571313	0,32582220	0,32600769	0,32600969	0,32610962	0,32618478	0,32631835	0,32636371	0,32648200	0,32658654	0,32677916	0,32699941	0,32718045	0,3274109
72	69	TYJAEN-17	4	0,34558615	0,34569860	0,34578982	0,34581894	0,34589162	0,34595364	0,34605226	0,34608594	0,34616715	0,34623823	0,34647837	0,34670380	0,34682593	0,3470066
73	70	TYJAEN-18	4	0,33642915	0,33654425	0,33663687	0,33667246	0,33681932	0,33678934	0,33693263	0,33698073	0,33707744	0,33716336	0,33731994	0,33754995	0,33770570	0,3379605
74	71	TYJAEN-19	4	0,33777815	0,33785871	0,33796513	0,33797535	0,33804059	0,33811888	0,33823910	0,33832863	0,33847457	0,33853567	0,33870593	0,33890450	0,33906558	0,33939645
75	72	TYJAEN-2	4	0,33109838	0,33124286	0,33131289	0,33138382	0,33144078	0,33148213	0,33159012	0,33169204	0,33182007	0,33188075	0,33202991	0,33234751	0,33254603	0,3327162
76	73	TYJAEN-20	4	0,33441347	0,33454216	0,33468086	0,33467934	0,33476871	0,33475623	0,33487725	0,33496910	0,33511639	0,33515030	0,33531582	0,33551431	0,33562255	0,3357982
77	74	TYJAEN-3	4	0,32269809	0,32279819	0,32290503	0,32298613	0,32304356	0,32313690	0,32320452	0,32328960	0,32335359	0,32341686	0,32363403	0,32387099	0,32402402	0,3242422
78	75	TYJAEN-4	4	0,32758477	0,32768649	0,32775879	0,32791454	0,32784989	0,32793593	0,32805684	0,32813224	0,32823601	0,32832834	0,32852712	0,32868424	0,32885578	0,3290895
79	76	TYJAEN-5	4	0,33817184	0,33829877	0,33835337	0,33837587	0,33840454	0,33845440	0,33857304	0,33861050	0,33866677	0,33876908	0,33890850	0,33912638	0,33933747	0,3394708
80	77	TYJAEN-6	4	0,34297869	0,34309694	0,34315813	0,34321120	0,34329614	0,34339648	0,34349859	0,34359704	0,34367532	0,34372520	0,34385577	0,34402990	0,34421307	0,3443785
81	78	TYJAEN-7	4	0,35870972	0,35882720	0,35898504	0,35909313	0,35918120	0,35932085	0,35934360	0,35952405	0,35957430	0,35959879	0,35979948	0,35997394	0,36022022	0,3603918
82	79	TYJAEN-8	4	0,33446825	0,33463863	0,33469576	0,33472094	0,33476278	0,33482832	0,33490387	0,33493170	0,33504072	0,33512971	0,33532169	0,33554465	0,33571148	0,3358538
83	80	TYJAEN-9	4	0,34535831	0,34547323	0,34555870	0,34559637	0,34562275	0,34565988	0,34578326	0,34582245	0,34590614	0,34600279	0,34613174	0,34630147	0,34651324	0,3467032

Tabla de perfiles espectrales

	BAL	BAM	BAN	BAO	BAP	BAQ	BAR	BAS	BAT	BAU	BAV	BAW	BAX	BAY	BAZ	BBA	BBI
62	1,29671216	1,29574430	1,29423547	1,29296517	1,29575455	1,29965615	1,29822886	1,29724085	1,29644489	1,29501927	1,29405940	1,29535317	1,29783404	1,29509926	1,29154062		
63	1,29796410	1,29838991	1,29674256	1,29697859	1,29875445	1,30113232	1,30050457	1,29796720	1,29699767	1,29533029	1,29513335	1,29644918	1,29592562	1,29443324	1,29275465		
64	1,28611922	1,28410196	1,28387678	1,28589392	1,28899574	1,29012847	1,28864741	1,28758156	1,28476048	1,28197348	1,28497005	1,28615749	1,28444564	1,28389800	1,28234255		
65	1,26301372	1,26186705	1,26144028	1,26295626	1,26438320	1,26608860	1,26574481	1,26326776	1,26270318	1,26118934	1,26358342	1,26159143	1,26299763	1,26026273	1,25998425		
66	1,27788138	1,27726376	1,27694333	1,27898252	1,27921474	1,28128839	1,27980959	1,27955687	1,27554536	1,27278364	1,27634907	1,27637315	1,28069091	1,27585459	1,27024937		
67	1,24520195	1,24518633	1,24463630	1,24618649	1,24705458	1,24888051	1,24907410	1,24735200	1,24480498	1,24350202	1,24488676	1,24390912	1,24675822	1,24497366	1,24279463		
68	1,27782941	1,27642310	1,27481568	1,27659464	1,27976775	1,28196645	1,28003836	1,27845562	1,27765465	1,27503324	1,27538157	1,28045940	1,27828979	1,27700365	1,27295089		
69	1,26115930	1,25958872	1,25810874	1,25883257	1,26129639	1,26272190	1,26194179	1,26042616	1,25745761	1,25809574	1,25681746	1,25761902	1,25851905	1,25842142	1,25407553		
70	1,26933789	1,27073884	1,26734567	1,26956213	1,27132845	1,26915216	1,27475011	1,27053940	1,26927841	1,26761830	1,26890659	1,27007186	1,27116489	1,26670706	1,26413703		
71	1,27803731	1,27715862	1,27817142	1,27903688	1,28187573	1,28247559	1,28089738	1,28118503	1,27995133	1,27830994	1,27792597	1,27865922	1,27910972	1,27732337	1,27211285		
72	1,29332955	1,29153836	1,29026246	1,29157066	1,29274249	1,29168689	1,29369521	1,29150105	1,29083264	1,28921032	1,28875327	1,29008281	1,28939509	1,29044175	1,28738248		
73	1,25514960	1,25571787	1,25384092	1,25588143	1,25618243	1,25718570	1,25762820	1,25705171	1,25577891	1,25174904	1,25278485	1,25420928	1,25474238	1,25367022	1,25136578		
74	1,27596247	1,27689576	1,27317393	1,27605379	1,27772510	1,27892375	1,27952373	1,27735710	1,27513647	1,27741385	1,27701557	1,27428293	1,27483773	1,27553582	1,27172673		
75	1,28038347	1,27905571	1,27715671	1,28094602	1,28037691	1,28174031	1,28118408	1,27996337	1,27724373	1,27825022	1,27647018	1,27977574	1,27803779	1,27963245	1,27456689		
76	1,25014722	1,25089002	1,24796546	1,25008941	1,25117981	1,25251102	1,25351846	1,25217474	1,25144446	1,24716032	1,25055432	1,25286640	1,25011134	1,24939013	1,24448335		
77	1,25911367	1,25898325	1,25872195	1,25888455	1,26028991	1,26353407	1,26194179	1,26192820	1,25869274	1,25712645	1,25861526	1,25897861	1,25942314	1,25610018	1,25506496		
78	1,30066228	1,30004561	1,29886937	1,30200243	1,30394661	1,30477691	1,30306447	1,30439711	1,30038142	1,29869568	1,30017710	1,30031478	1,30192149	1,30139172	1,29784596		
79	1,25166154	1,24990129	1,24916422	1,25003850	1,25325727	1,25441730	1,25362611	1,25146699	1,25045037	1,24956059	1,24890316	1,24920237	1,25011134	1,24861097	1,24654269		
80	1,25598896	1,25446844	1,25454938	1,25541723	1,25749469	1,25970316	1,25942492	1,25760305	1,25471914	1,25610244	1,25589240	1,25673461	1,25617719	1,25677085	1,25210309		
81	1,27710247	1,27521753	1,27349126	1,27502799	1,27767003	1,27864313	1,27895272	1,27816629	1,27665734	1,27242947	1,27568376	1,27594197	1,27646625	1,27293158	1,27101958		
82	1,24193609	1,24076355	1,23995924	1,24206829	1,24317145	1,24320662	1,24330580	1,24338245	1,24149597	1,24020267	1,23973715	1,24145710	1,24284959	1,24060166	1,23884010		
83	1,24810410	1,24921048	1,24871433	1,24978411	1,24875152	1,25203574	1,25056827	1,25076032	1,25050557	1,24638176	1,24827838	1,24960768	1,25093901	1,24927020	1,24539065		
84																	

Tabla de perfiles espectrales