



HACEMOS UN MUNDO
+ SOSTENIBLE
A TRAVÉS DE LO MEJOR DE *Colombia*



La técnica NIRS, una alternativa para la predicción de la calidad del café de Colombia

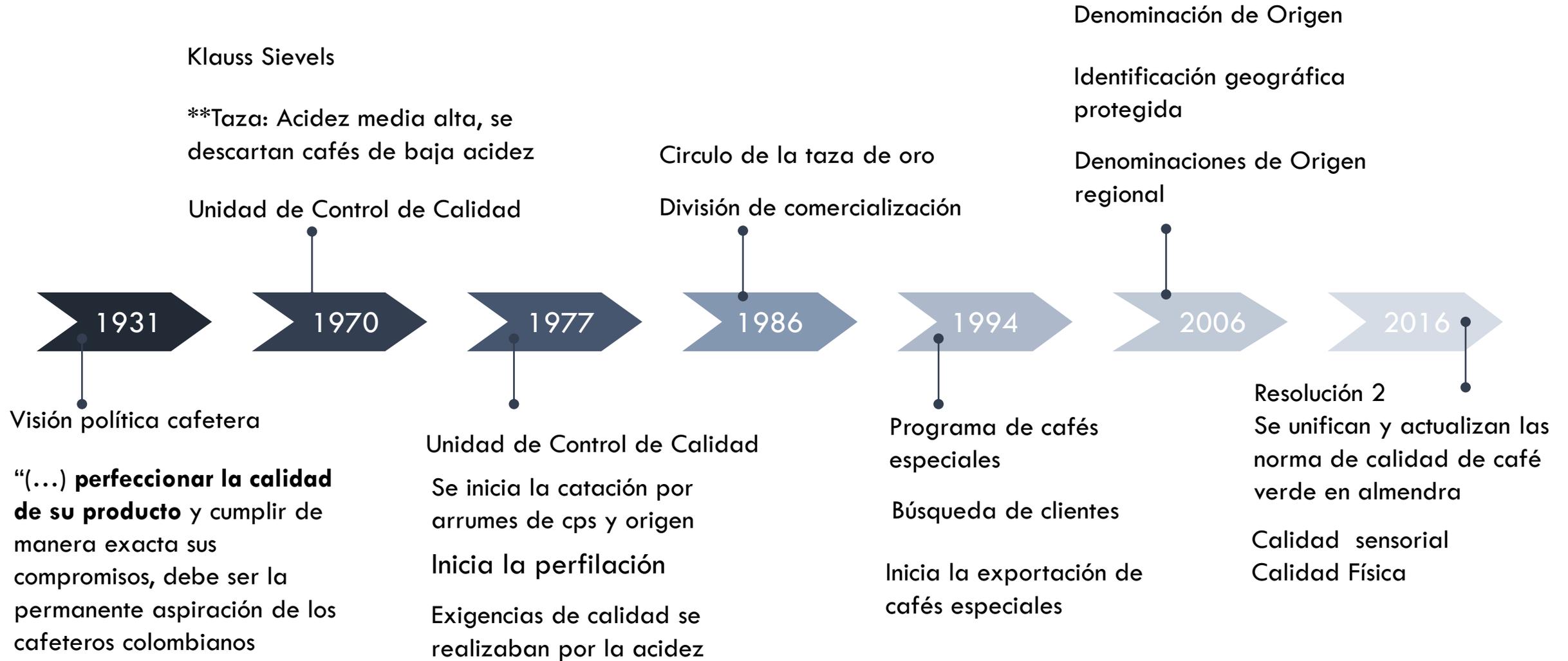
CAL101007

Claudia R. Gómez P.

Asistente de Investigación
Disciplina de Calidad

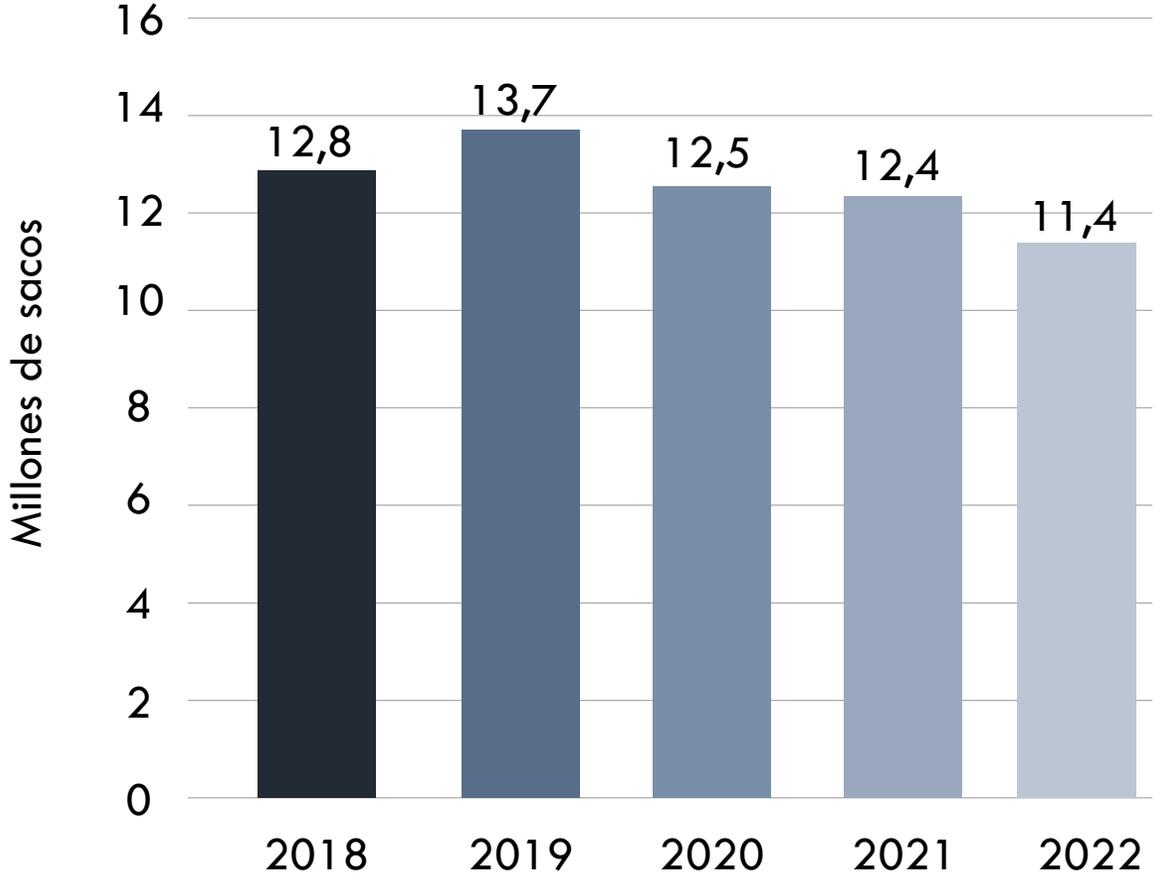
Junio 5 de 2023

Calidad del café de Colombia

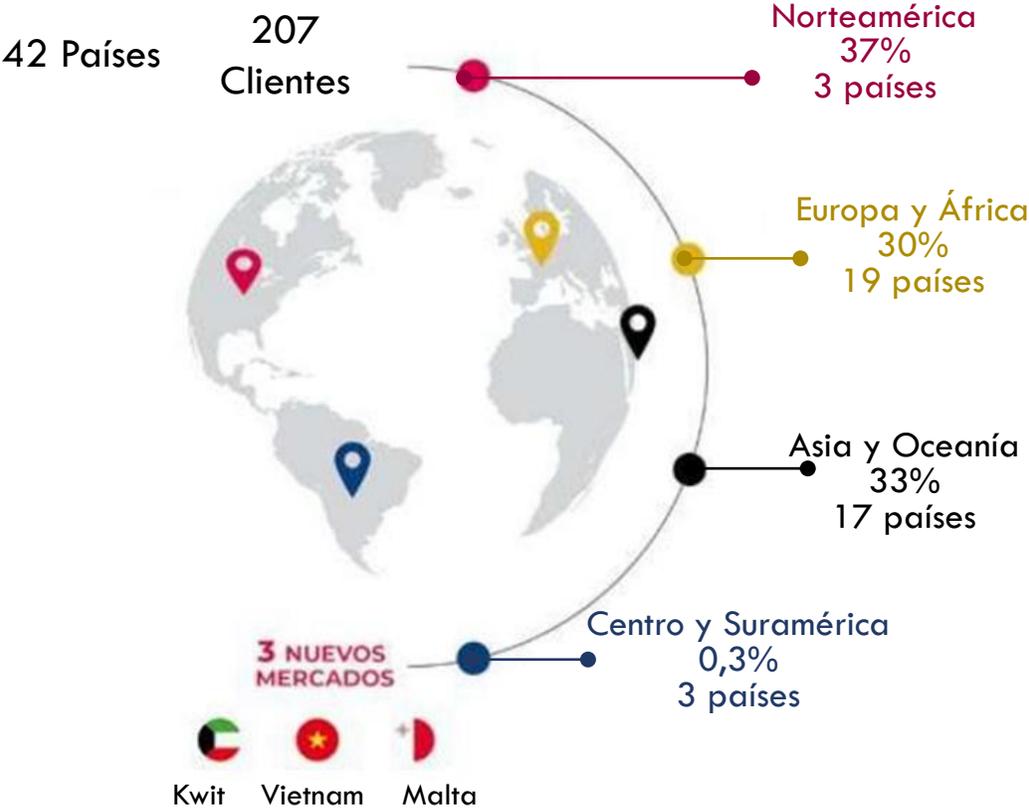


Calidad del café de Colombia

Dinámica comercial



Café especiales Estrategias de diferenciación



1, 47 millones de sacos /60kg
USD 585 millones (60% más 2021)

Calidad del café de Colombia

Requisitos de exportación

R.legal	Tipo de café	A. Verificación
Resolución 4819 /2005 Resolución 41083 /2010 Resolución DR Resolución 2 / 2016 NTC 5938 / 2012 Ley 603 /2000	Verde	Análisis sensorial *NIRS
	Verde excelso Verde excelso descafinado	Análisis sensorial *NIRS Físico Humedad Granulometría Infestación Visual
	Verde consumo y pasilla	Análisis sensorial *NIRS
	Tostado	Análisis sensorial
	Soluble y extracto	Análisis Sensorial

Denominación de Origen Café de Colombia - DO
Indicación Geográfica Protegida Café de Colombia – IGP
*Denominación de Origen Cafés Regionales - DOR

Calidad del café de Colombia



Análisis sensorial

Es el estudio de aquellas propiedades de los alimentos que afectan los órganos de los sentidos



Realizado por jueces entrenados que conocen los atributos a evaluar y la escala de valoración

Subjetivo

Método de aceptación

- Bueno
- Muy bueno
- Regular
- Malo
- Muy malo

Método de preferencia

Selecciona una única muestra

Objetivo

Pruebas analíticas discriminativas

Diferencia en la sensibilidad
Escala de valoración

Pruebas analíticas descriptivas

Marcación , clasificación
Perfil del gusto



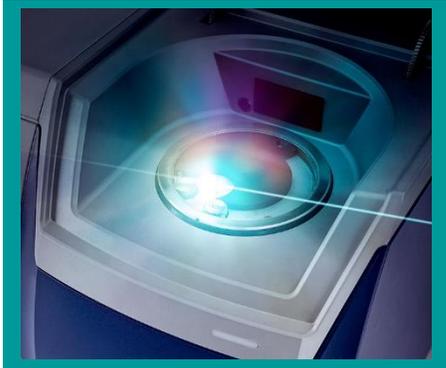
Análisis sensorial

- Definir si el café tiene defectos o sabores desagradables
- Describir los atributos y los sabores agradables
- Evaluar su intensidad
- Cuantificar su calidad
- Informar sobre los resultados obtenidos



Herramienta que permite juzgar y garantizar las características diferenciadoras de la calidad del café que se produce en nuestro país

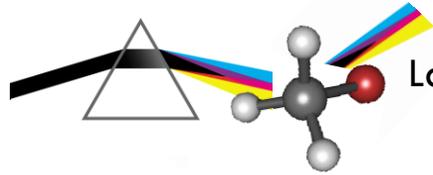
Técnica NIRS



- Analítica, precisa y reproducible
- 2 y 3 minutos
- Resultado de múltiples constituyentes
- Análisis cualitativo y cuantitativo
- Poca o ninguna manipulación de la muestra
- Industria agroalimentaria, farmacéutica, química, petroquímica, medicina
- No requieren compuestos químicos
- Ni genera residuos peligrosos

Técnica NIRS

La energía de la radiación incidente



La reflejada

≠ R.Incidente y R.Reflejada
Absorbancia

La información de
absorbancia obtenida
en el análisis espectral



La información

- Química
- Sensorial
- Física

Modelos de predicción

Cuantitativos

Compuestos químicos

Cualitativos

Separación por clases

Interacción energía y la materia

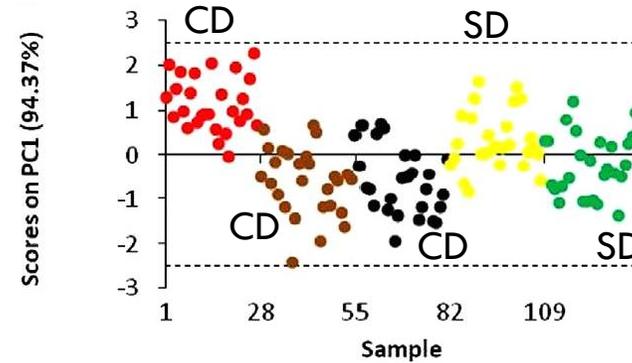
Ley de Lambert –Beer. Absorbancia esta directamente relacionada con la concentración del analito.

Los enlaces que presentan una mayor absorción en la región NIRS son C-H, N-H y O-H, debido a la diferencia de peso atómico entre los dos átomos

Técnica NIRS

Craig et al, 2014

Clasificación de Café con y sin defecto sensorial

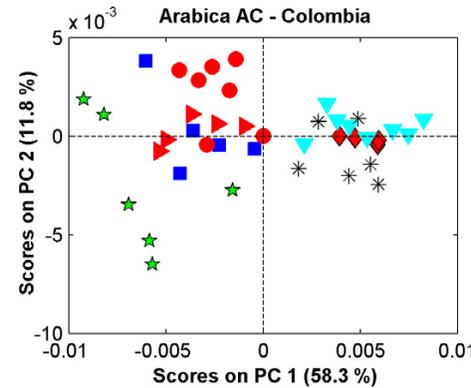


94,3 % acierto
PLS

Santos et al, 2012

Evaluación de la calidad de granos de café almendra, con enfoque cuantitativo

Clasificación de Café con y sin defecto físico

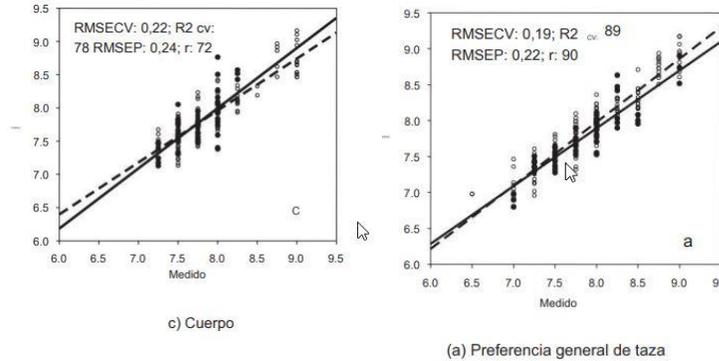


70,9 % acierto
PSL

Técnica NIRS

Tolessa et al, 2012

Predicción de la calidad en taza de café por NIRS en granos de café verde



Regresión de PLS

Coefficiente de correlación (R^2)

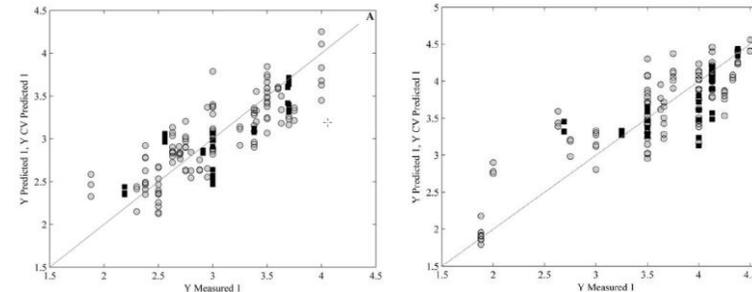
Acidez: 78

Cuerpo: 72

Puntaje total: 90

Ribeiro et al, 2012

Modelos quimiométricos para el análisis sensorial descriptivo de la bebida de café



Regresión de PLS

Coefficiente de correlación (R^2)

Acidez: 84

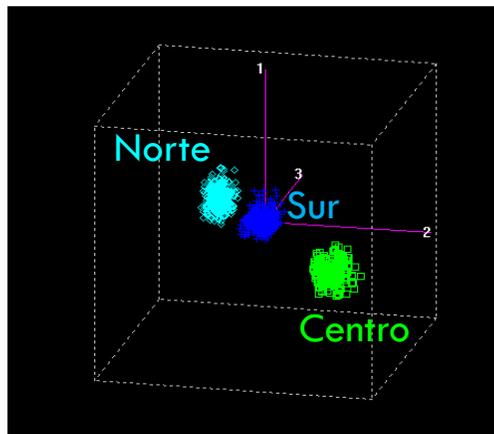
Cuerpo: 88

Sabor: 93

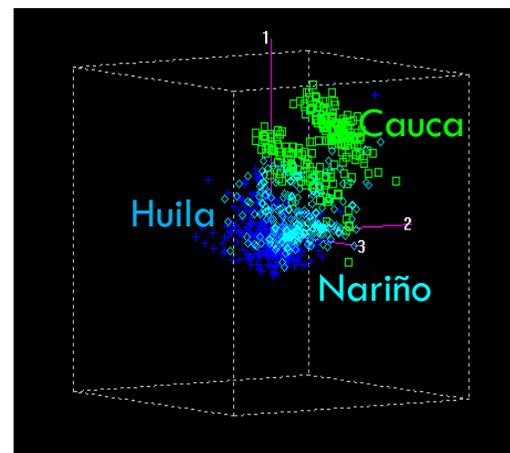
Puntaje total: 90

Técnica NIRS _ Cenicafé

Predicción de origen
10 departamentos
productores



Zona	Acierto (%)
Centro	82,5
Norte	89,7
Sur	95,3



Depto.	Acierto (%)
Antioquia	98
Caldas	83
Cauca	93
Huila	88
Nariño	99
Santander	87
S.Nevada	97
Tolima	91

Regresión Máxima residualidad y por RMS

Determinación de 13
compuestos químicos del
café tostado

Regresión PLS, y MLPS

1. Caféina
2. Trigonelina
3. Teobromina
4. Sacarosa
5. Glucosa
6. Fructosa
7. Ácidos clorogénicos totales
8. Lípidos totales
9. Esteárico
10. Araquidico
11. Palmítico
12. Linoléico
13. Oleico

Error relativo de predicción
para todos los compuestos
fue $<0,12$

Técnica NIRS _ Cenicafé

Determinación de 10
compuestos químicos del
café almendra

Regresión PLS, y MLPS

1. Caféina
2. Trigonelina
3. Sacarosa
4. Ácidos clorogénicos
totales
5. Lípidos totales
6. A.G. Esteárico
7. A.G. Araquidico
8. A.G. Palmítico
9. A.G. Linoléico
10. A.G. Oleico

Error relativo de
predicción para todos los
compuestos fue <0,027

Identificación de la calidad del café
pergamino y almendra

Grupos de defectos sensoriales

Sobrefermentados	Áspero	Terroso	Contaminado
<ul style="list-style-type: none">• Pulpa• Vinagre• Fermento• Stinker	<ul style="list-style-type: none">• Inmaduro• Acre• Áspero	<ul style="list-style-type: none">• Terroso• Mohoso• Reposo	<ul style="list-style-type: none">• Fenol• Humo• Contaminado• Químico

Grupo sin defecto sensorial

Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3
<ul style="list-style-type: none">• Extraordinaria• >84,25_ SCA	<ul style="list-style-type: none">• Especial• 82,25 - 84_ SCA	<ul style="list-style-type: none">• Estándar• 79 - 82_ SCA

Metodología

Análisis sensorial



Catadores de Almacafé y de Cenicafé
Certificados Q-Grader por el CQI (Coffee Quality Institute)

Procedimiento utilizado es el estandarizado a partir del protocolo de la Specialty Coffee Association SCA (*Protocols & Best Practices*, 2003).

Análisis NIRS



Equipo

NIRS XDS RCA

Rango espectral

400 – 2500 nm

Celdas

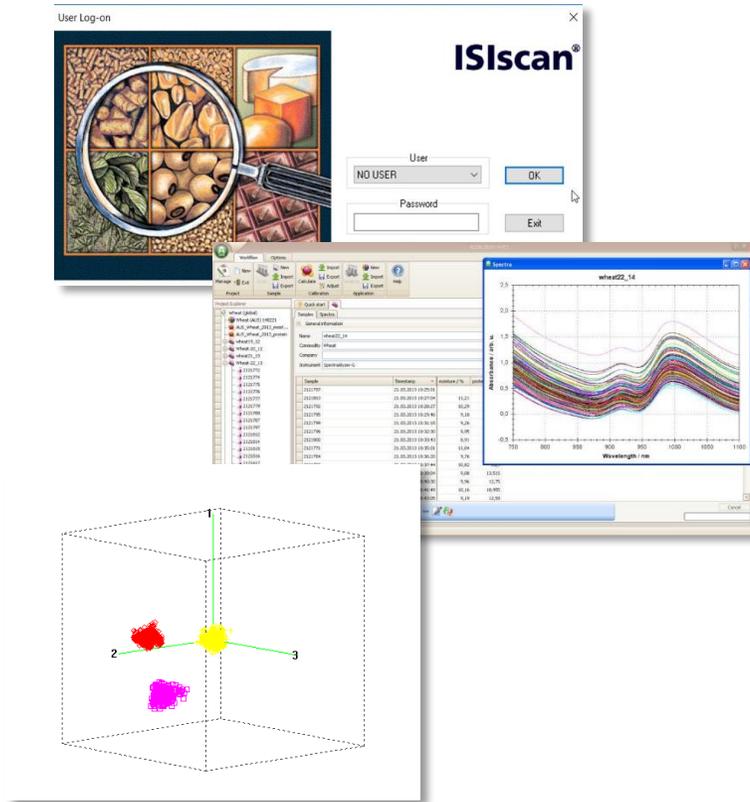
Rectangulares

Las muestras de café almendra se analizaron por duplicado

Metodología

Desarrollo de los modelos predictivos

Software WinISI _ Versión 4.0



1. Análisis espectral o tratamiento de datos espectrales

- Absorbancia media
- Análisis de Componentes principales ACP
- Se identificaron las muestra anómalas – outlier
- Corrige el ruido espectral

2. Desarrollo de los modelos de predicción

- Café pergamino seco cps
- Almendra sana

Metodología

Muestras Analizadas y utilizadas

Modelo	Clasificación CDS y SDS		Total
	CDS N°	SDS N°	N° de muestras
Pergamino seco	554	1500	2054
Almendra	829	3005	3834

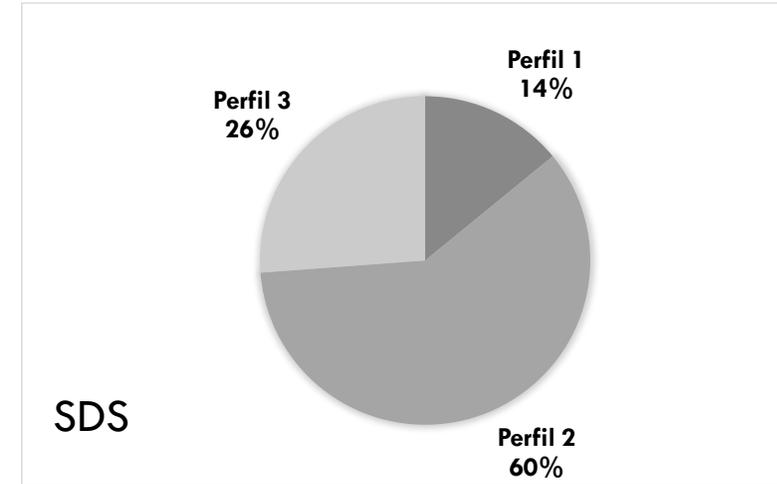
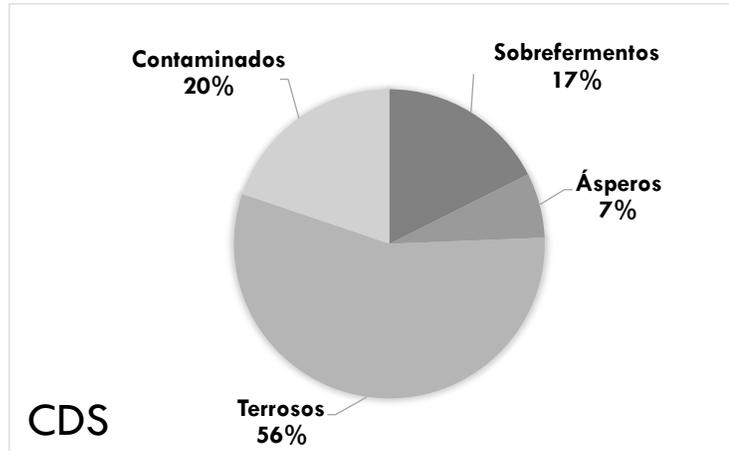
Centros Regionales y Cenicafé

16 departamentos: Antioquía, Boyacá, Caldas, Cauca, César, Cundinamarca, Huila, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca

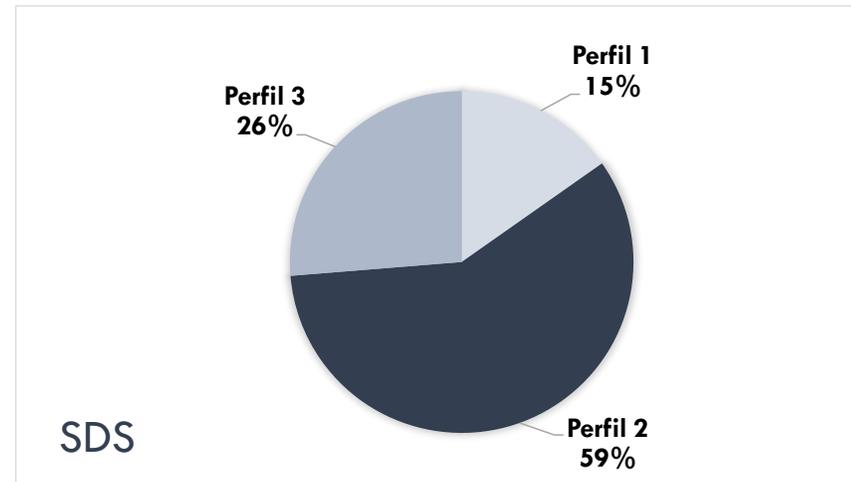
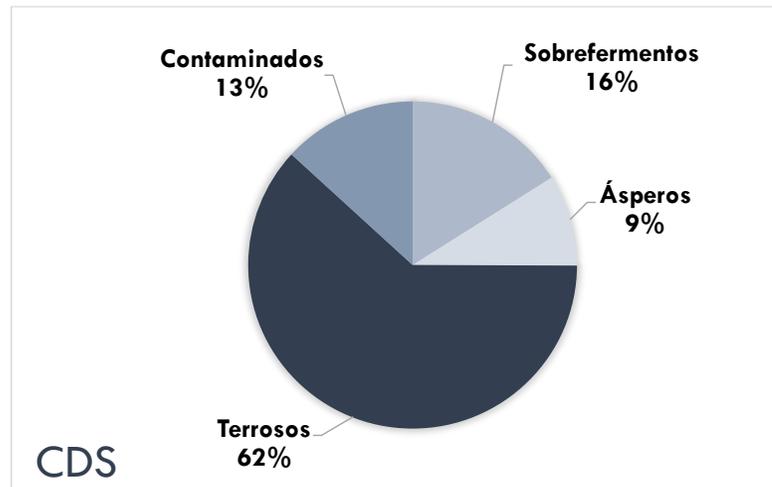


Metodología

Proporción por grupo de defectos y perfiles de calidad para el **café pergamino seco cps**



Proporción por grupo de defectos y perfiles de calidad para el **café almendra**

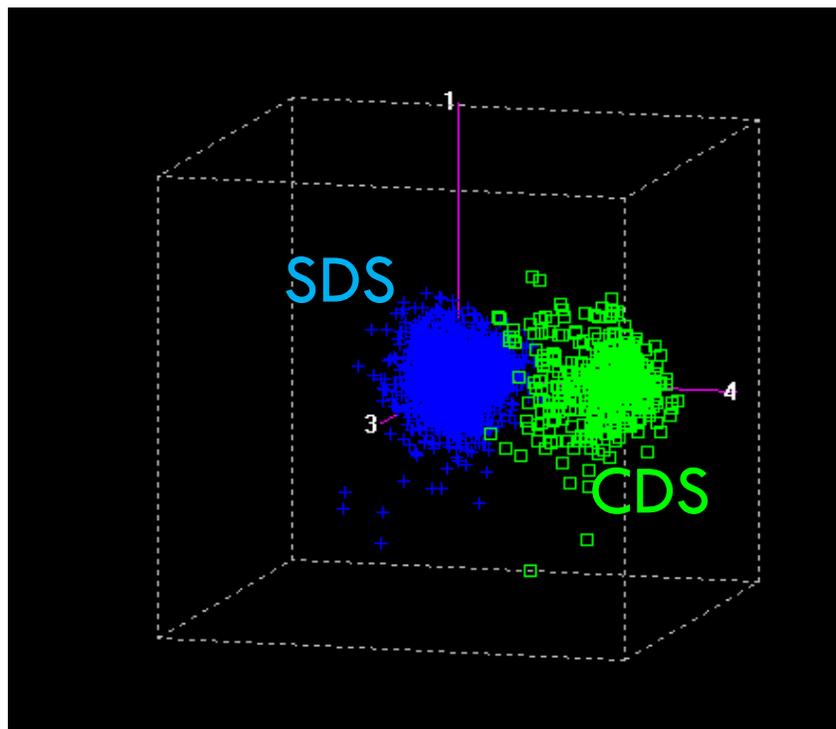


Resultados

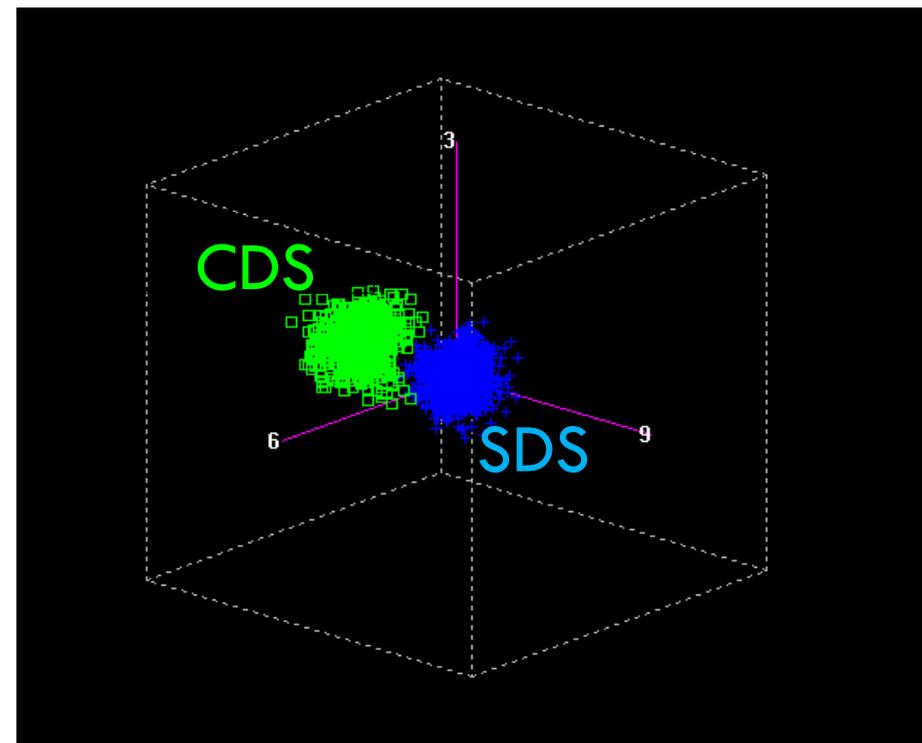
Análisis espectral



Análisis de componentes principales - PCA



Café pergamino seco



Café almendra

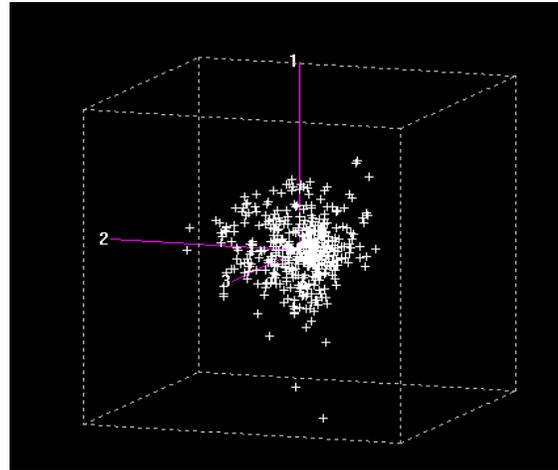
PCA, permite conocer el comportamiento espectral, identifica las muestras anómalas, discrimina por grupos o clases.

(Chifarelli et al.,2019; Cozzolino, D. et al, 2006)

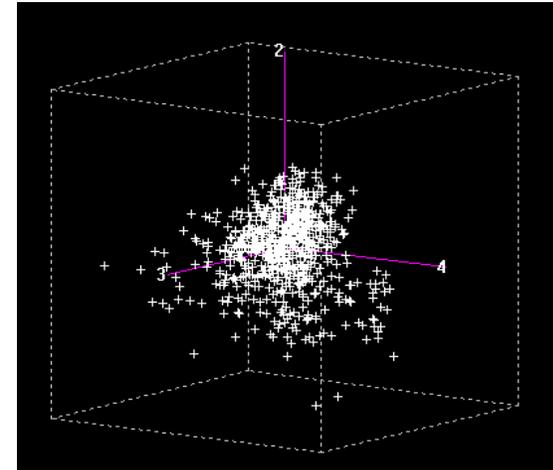
Análisis Espectral

Con defecto sensorial

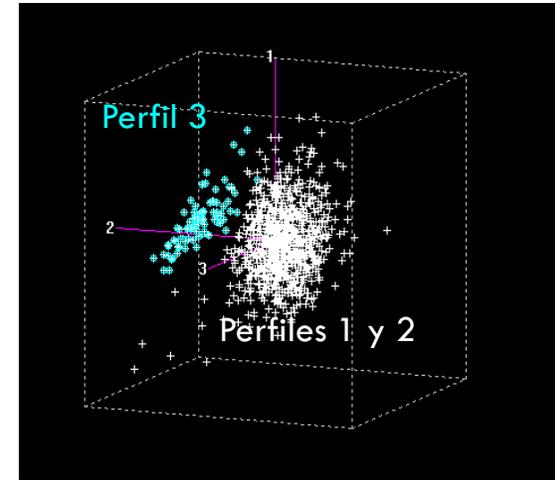
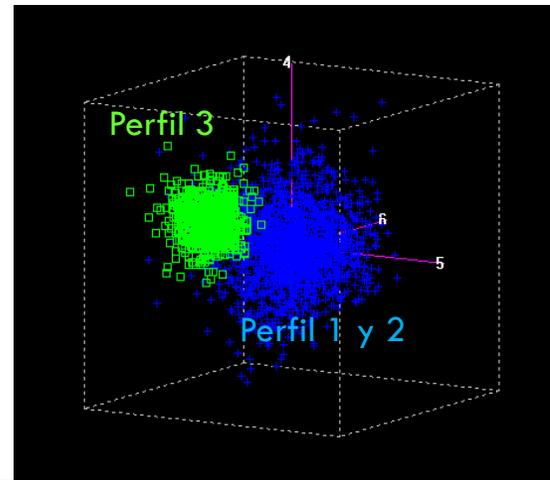
Café pergamino seco



Café almendra



Sin defecto sensorial



Desarrollo de modelos



Regresión

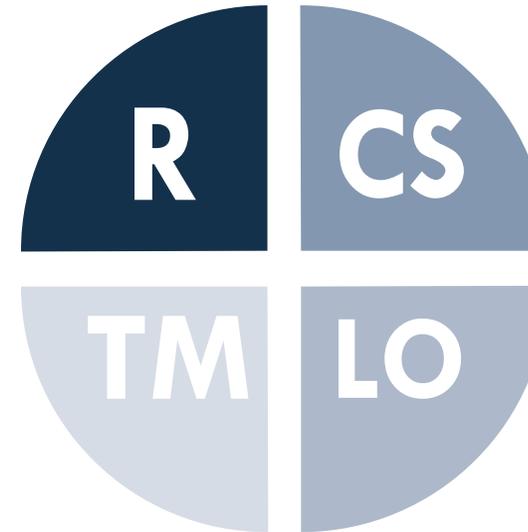
- PLS -Mínimos cuadrados parciales
- PLS Modificado
- Distancia Mahalanobis
- Máxima residualidad

Derivada: 1 y 2
Gap: N° ref. derivada
Smooth: suaviza el ruido

Tratamiento matemático

Corrección Scatter

Standard normal variate –SNV
- Drend – DT
Multivariada scatter correction -
MSC
Derivative, Remove scale and
offset



408 – 1098,2 nm
1108,2 -2492.8 nm

Longitud de Onda

Desarrollo de modelos

Matriz de café	Café pergamino seco (cps)		Almendra	
Modelo predicción	Clasificación CDS y SDS	Clasificación por calidad	Clasificación CDS y SDS	Clasificación por calidad
Variables	Grupo 1=Café SDS Grupo 2=Café CDS	Grupo 1= Perfil 1 y Perfil 2 Grupo 2= Perfil 3	Grupo 1=Café SDS Grupo 2=Café CDS	Grupo 1= Perfil 1 y Perfil 2 Grupo 2= Perfil 3
Regresión	RMS X Residual	RMS X Residual	RMS X Residual	RMS X Residual
Corrección Scatter	Standard normal variate-SVN, Drend-DT	Standard normal variate-SVN, Drend-DT	Standard normal variate-SVN, Drend-DT	Standard normal variate-SVN, Drend-DT
Tratamiento matemático	3,3,3,1	4,3,3,1	1,4,4,1	3,4,4,1
Longitud de onda	408 - 1092,4 1108 - 2492,6	408 - 1092,4 1108 - 2492,6	408 - 1092,4 1108 - 2492,6	408 - 1092,4 1108 - 2492,6

Software quimiométrico WinISI 4,0

Desarrollo de modelos

Modelo clasificación discriminante

Objetivo encontrar la combinación de las variables independientes que mejor permitan la máxima separación de las clases

Café pergaino seco

Clase	Utilizadas Modelo	Utilizadas validación	Total
SDS	999	501	1500
CDS	463	91	554



Modelo clasificación discriminante

Matriz de confusión

Clase	SDS	CDS	Acierto	Error	Desconocido	Total N°	Acierto %
SDS	997	2	997	2	0	999	99,8
CDS	59	404	404	59	0	463	87,3

Acierto global de 93,5%
Error medio global de 6,5%.

Verdaderos positivos

Falsos positivos

Validación Cruzada

Clase	SDS	CDS	Desconocido	Total N°	Acierto %
SDS	465	35	0	501	92,8
CDS	12	79	0	91	86,8



Resultados de eficiencia de los modelos Clasificación del café con y sin defecto sensorial

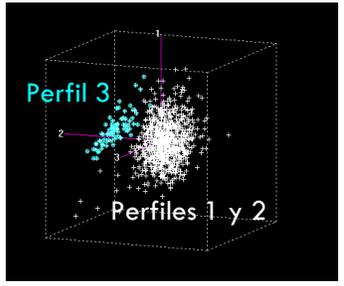
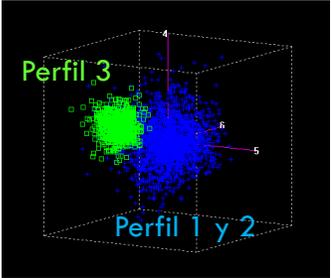
Matriz	Pergamino seco - cps		Almendra	
Clase	Acierto (%)	Acierto medio global (%)	Acierto (%)	Acierto medio global (%)
CDS	99,8	93,5	84,5	82,4
SDS	87,3		80,2	



Desarrollo de modelos

Resultados de eficiencia de los modelos Clasificación por perfil de calidad

Matriz	Pergamino seco - cps		Almendra	
	Acierto (%)	Acierto medio global (%)	Acierto (%)	Acierto medio global (%)
Grupo 1 Perfil 1 y 2	99,2	91,5	91,5	95,6
Grupo 2 Perfil 3	83,7		99,7	



Conclusiones

La técnica NIRs, tiene la capacidad de identificar el café con y sin defecto sensorial para café pergamino seco y almendra

Esta investigación es pionera en obtener este resultado cps

La eficiencia de los modelos de predicción presentaron un alto porcentaje de acierto en las dos matrices de café y en las diferentes clases de café evaluados



La composición química y su relación con la calidad



Caracterización química del café almendra por NIRS

Modelos de calibración para 10 compuestos químicos para café almendra – CAL104011

Compuesto químico	Error relativo de predicción
Lípidos totales	0,003
Cafeína	0,015
Trigonelina	0,027
Sacarosa	0,007
Ácidos clorogénicos totales (CQA)	0,007
Ácido graso palmítico	0,007
Ácido graso linoleico	0,005
Ácido graso oleico	0,001
Ácido graso esteárico	0,008
Ácido graso araquídico	0,002

Error relativo de predicción: Diferencia del valor obtenido por el método de referencia y el valor predicho por NIRS

Caracterización química del café almendra

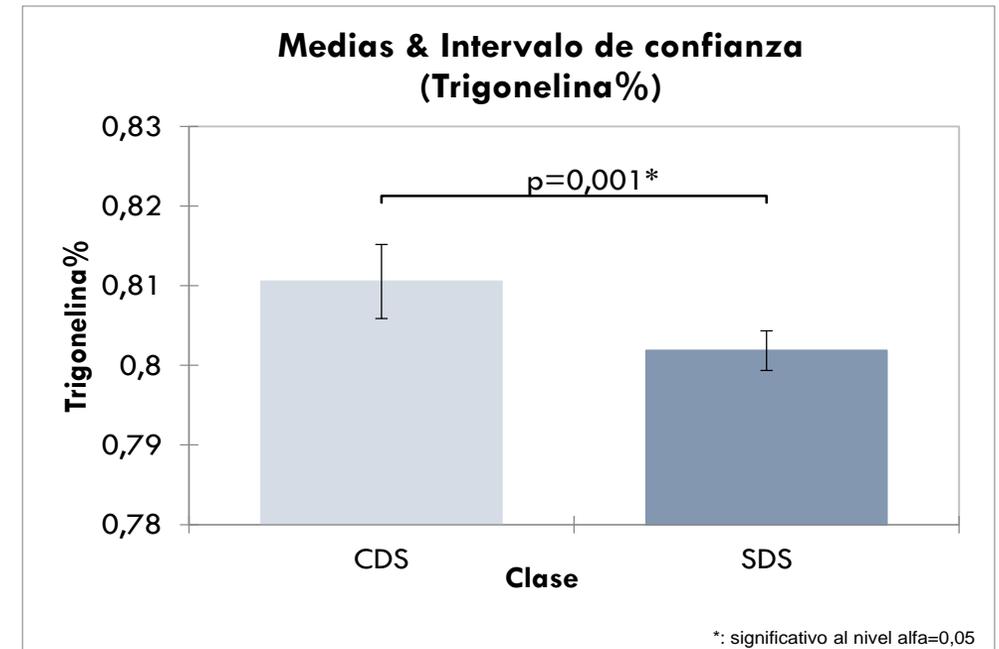
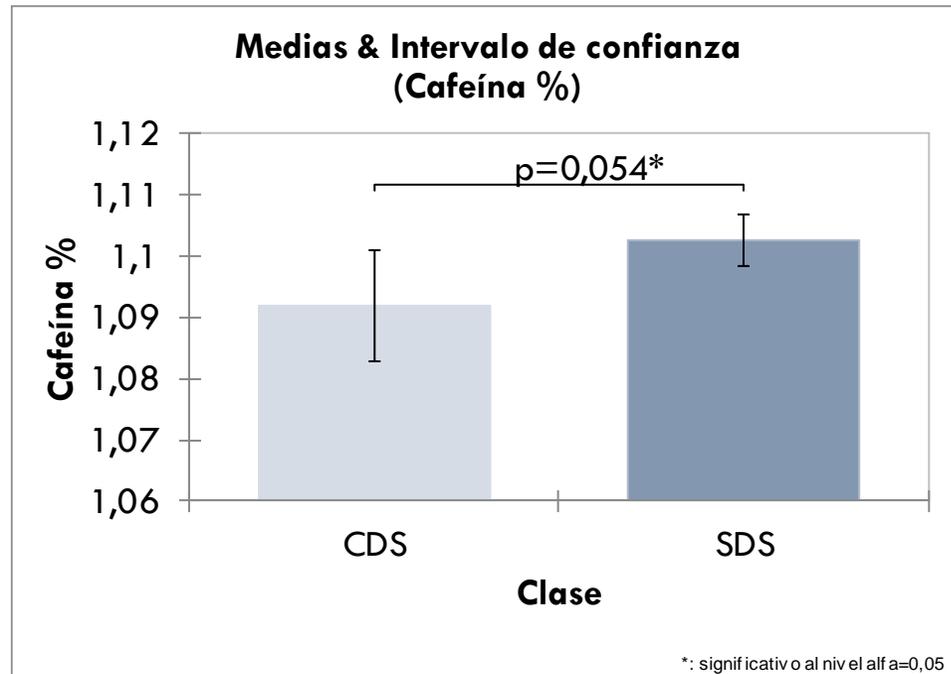
Con y Sin defecto sensorial

† Student
alfa (α)= $<0,05$

Existen diferencias
estadísticas significativas

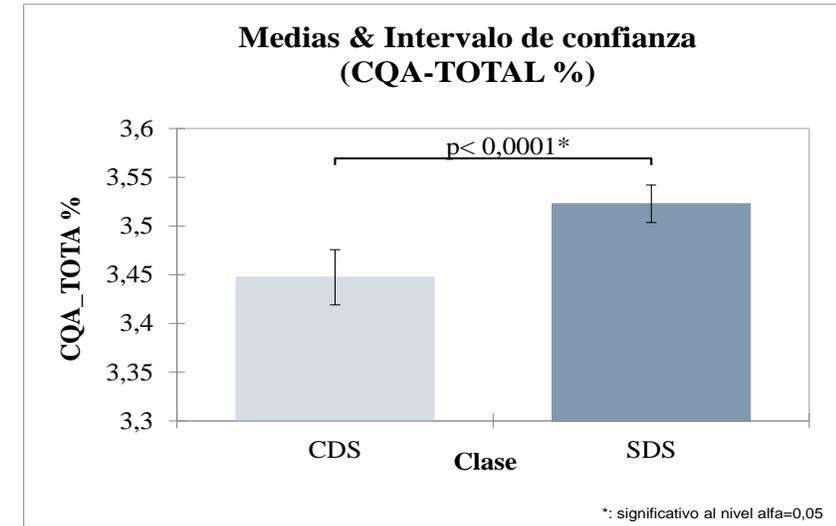
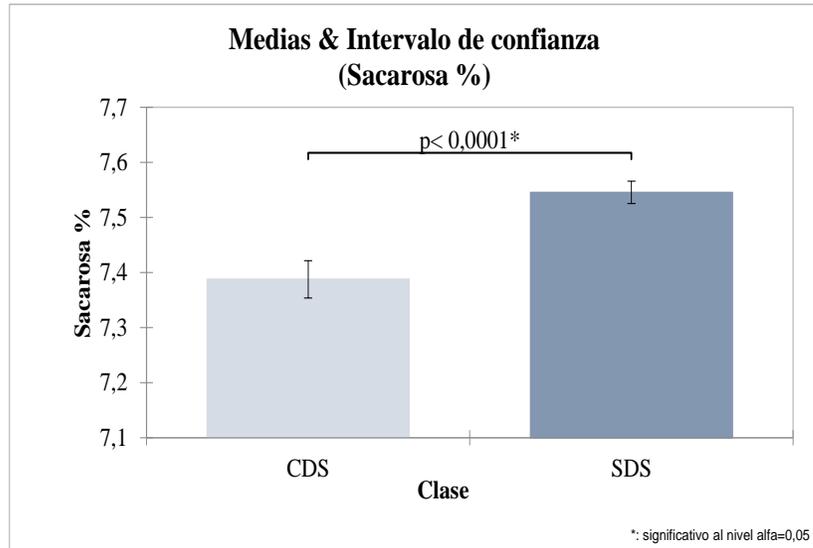
Entre el café CDS y SDS
9 compuestos químicos evaluados

Alcaloides

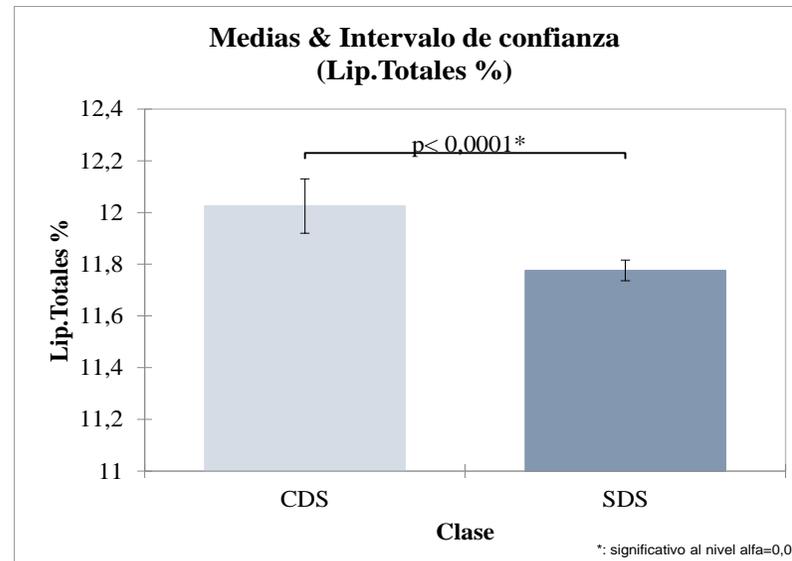


Caracterización química del café almendra

Con y Sin defecto sensorial



Fuente: Farah et al., 2006

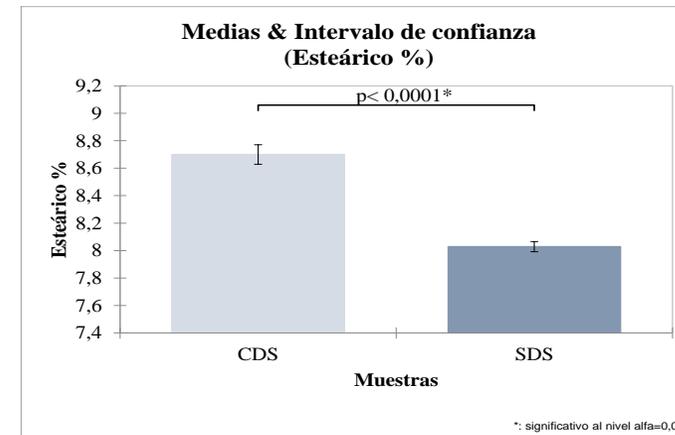
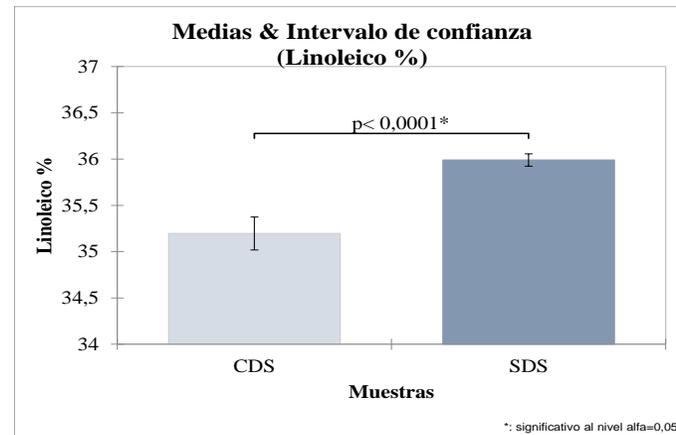
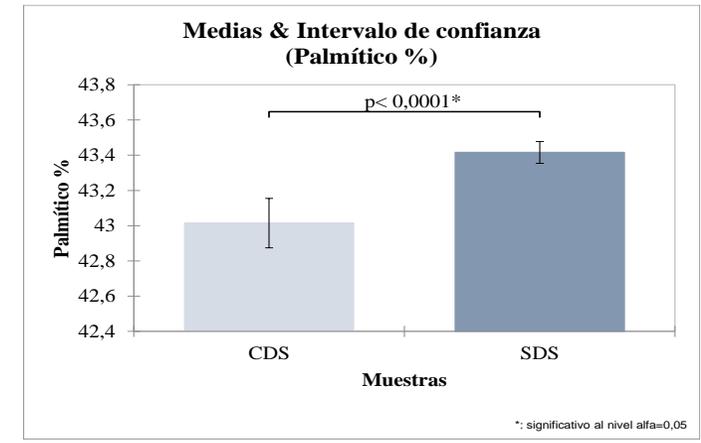
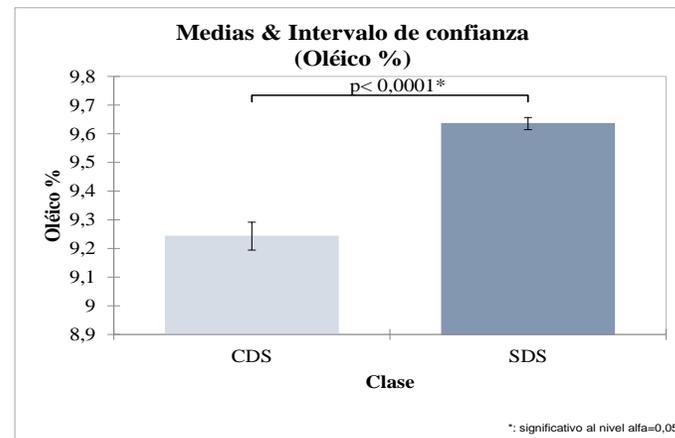
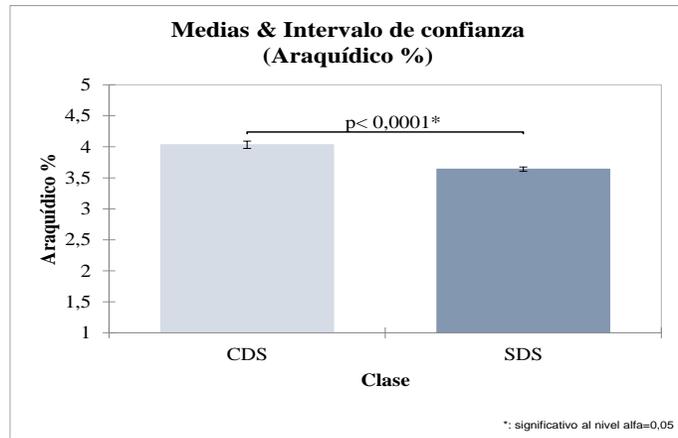


Fuente: Gallego, 2020; Rendón et al., 2014, Farah et al., 2006

Caracterización química del café almendra

Con y Sin defecto sensorial

Ácidos grasos



Caracterización química del café almendra

Sin defecto sensorial

Perfil 1

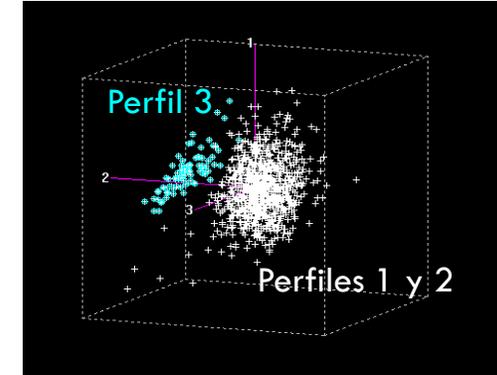
- Extraordinaria
- >84,25_ SCA

Perfil 2

- Especial
- 82,25 - 84_ SCA

Perfil 3

- Estándar
- 79 - 82_ SCA



Compuesto químico	Perfil	Mínimo (%)	Máximo (%)	Media (%)	Desviación típica	Grupos
Cafeína	1	0,83	1,31	1,11	0,1	A
	2	0,88	1,35	1,11	0,1	A
	3	0,93	1,31	1,08	0,1	B
Trigonelina	1	0,66	0,94	0,79	0,0	B
	2	0,70	0,95	0,80	0,0	B
	3	0,66	0,92	0,81	0,1	A
Lípidos Totales	1	9,50	14,00	11,74	0,8	B
	2	9,65	14,05	11,67	0,7	B
	3	9,27	14,11	12,04	0,8	A
Ácido graso oléico	1	8,48	10,88	9,74	0,4	A
	2	8,42	10,61	9,68	0,4	A
	3	8,83	10,84	9,46	0,4	B

Caracterización química del café almendra Con defecto sensorial

Sobrefermentados

- Pulpa
- Vinagre
- Fermento
- Stinker

Áspero

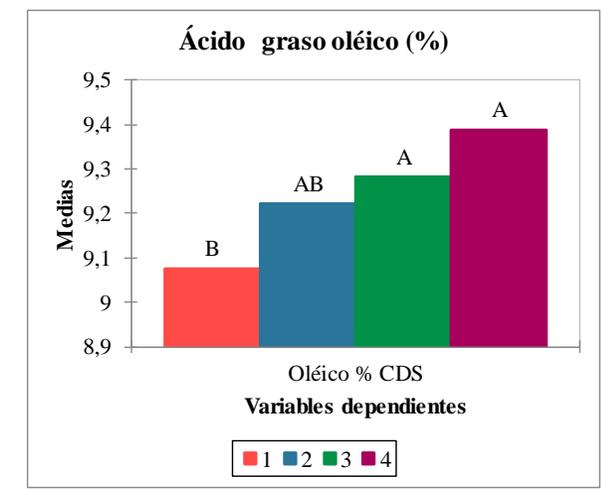
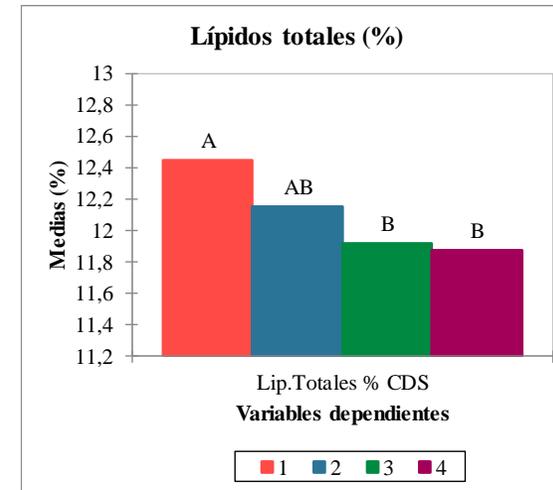
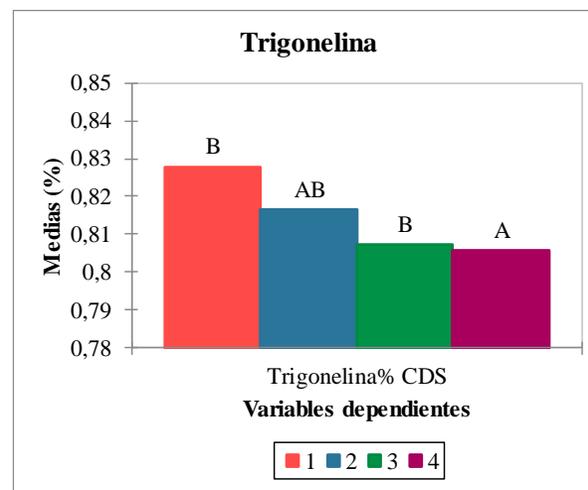
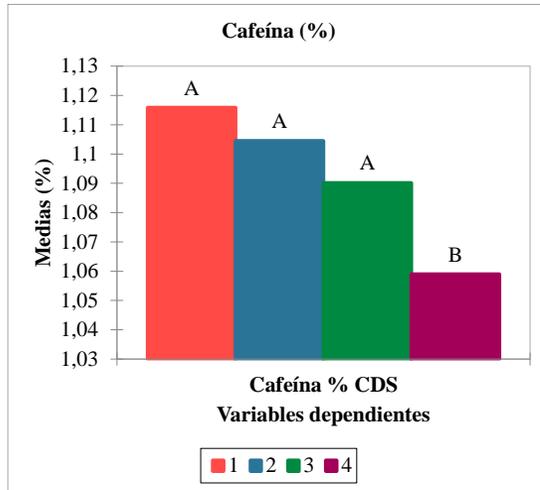
- Inmaduro
- Acre
- Áspero

Terroso

- Terroso
- Mohoso
- Reposo

Contaminado

- Fenol
- Humo
- Contaminado
- Químico



Análisis estadístico Bonferroni

Conclusiones

- Se determinó que la composición química es estadísticamente diferente en las dos clases de café evaluado, en 9 compuestos químicos.
- El café CDS presentó diferencias estadísticas entre los grupos de defectos evaluados solo en los compuestos químicos cafeína, trigonelina, lípidos totales y ácido graso oleico.



Cadena de valor



Caracterización química café almendra y tostado

Proceso de Investigación científica
Caracterizaciones regionales



Extensión Rural

Investigación Científica

Propuesta de valor: bienestar y sostenibilidad
CAFICULTOR

Proceso del café



Comercialización Interna y Externa

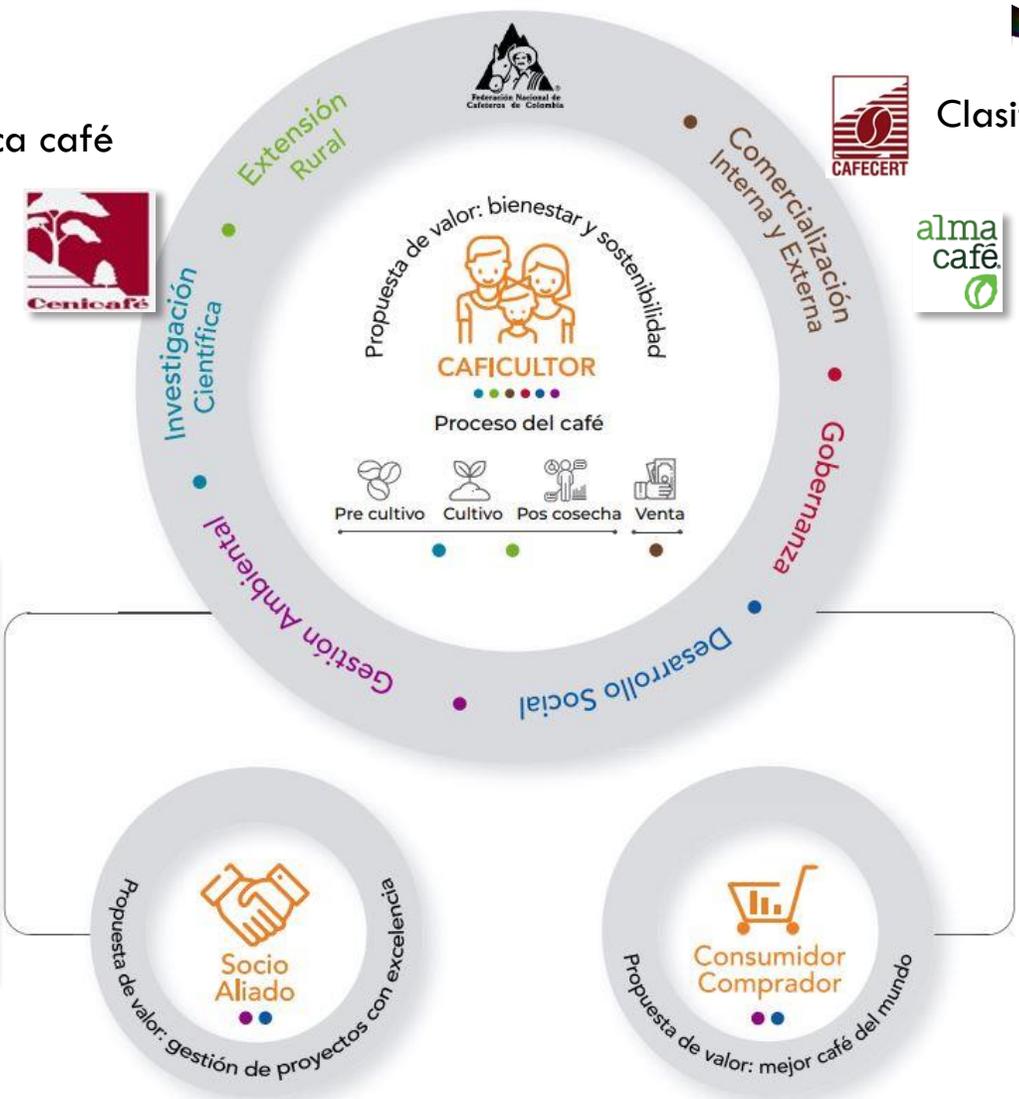


Clasificación regional



Caracterización química café almendra y tostado

Clasificación del café con y sin defecto sensorial



Las investigaciones a partir de la técnica NIRS, contribuyen a las estrategias que desde la institucionalidad se están realizando para dar garantía a la calidad y al origen del café de Colombia



Proyecciones 2027

Desarrollar las investigaciones que permitan identificar las adulteraciones del café de Colombia con mezclas de café de otros orígenes.

Que estén implementados y vinculados en las operaciones de los puertos los modelos desarrollados que permiten dar garantía de la calidad del café de Colombia.

Tener posicionadas las Denominaciones de Origen como respaldo del café de Colombia, lo que permitiría con enfoque territorial respaldar la calidad de café de nuestro país.



Equipo de Trabajo

Gerencia Técnica
Dirección

Disciplina de Calidad

- Valentina Osorio
- Claudia Gallego
- Luz Fanny Echeverri
- Jenny Pabón
- Claudia Tabares
- Paola Calderón
- Wilson Vargas
- Víctor Castañeda
- Miguel Martíne

Disciplina de Fisiología

- Aristófeles Ortiz

Disciplina de Biometría

- Rubén Medina

Área Administrativa y Financiera.

The People Company
- Anderson Arias

Almacafé

- Fernando Osorio
- Centros Regionales

Purificación y Análisis de Fluidos

- Paola Parra



Debemos contribuir con el respaldo técnico y científico a la protección de la calidad y el origen del café de Colombia

Gracias

