



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Energía y Ambiente

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO  
POSLIXIVIADO DE CAFETERÍAS DE ALTO CONSUMO COMO BASE PARA SU  
VALORIZACIÓN**

**Inga. Paula María Vásquez Cifuentes**  
Asesorado por la Msc. Lcda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO  
POSLIXIVIADO DE CAFETERÍAS DE ALTO CONSUMO COMO BASE PARA SU  
VALORIZACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**INGA. PAULA MARÍA VÁSQUEZ CIFUENTES**

ASESORADO POR LA MSC. LCDA. INGRID LORENA BENÍTEZ PACHECO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA**

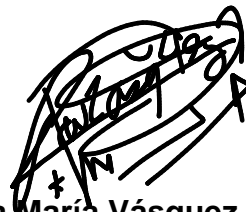
DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### EVALUACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO POSLIXIVIADO DE CAFETERÍAS DE ALTO CONSUMO COMO BASE PARA SU VALORIZACIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 02 de agosto 2021.



Inga. Paula María Vásquez Cifuentes



Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.085.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO POSLIXIVIADO DE CAFETERÍAS DE ALTO CONSUMO COMO BASE PARA SU VALORIZACIÓN**, presentado por: **Inga. Paula María Vásquez Cifuentes**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc



**Guatemala, enero de 2023**

LNG.EEP.OI.085.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO POSLIXIVIADO DE CAFETERÍAS DE ALTO CONSUMO COMO BASE PARA SU VALORIZACIÓN”**

presentado por **Inga. Paula María Vásquez Cifuentes** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 6 de noviembre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO POSLIXIVIADO DE CAFETERIAS DE ALTO CONSUMO COMO BASE PARA SU VALORIZACIÓN”** presentado por la Ingeniera **Paula María Vásquez Cifuentes** quien se identifica con carné **201314745**.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
**Coordinador de Maestría**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 27 octubre 2021.

Ingeniero M.Sc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12

**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Paula María Vásquez Cifuentes, Carné número 999002289, cuyo título es "**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL RESIDUO DE CAFÉ MOLIDO POSLIXIVIADO DE CAFETERIAS DE ALTO CONSUMO COMO BASE PARA SU VALORIZACIÓN**", para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Vásquez Cifuentes, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

Licda. Qca. Ingrid Barrios Benítez  
Licda. Ingrid Barrios Benítez  
M.Sc. Ciencia y Tecnología  
Química  
Maestría Ciencia y Tecnología  
Asesora Medio Ambiente  
Colegiado No. 1974

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por su amor y misericordia, gracias por ser mi refugio y llenarme de fe para alcanzar mis metas.
<b>Mi padre</b>	Maynor Vásquez, por inculcarme el amor a Dios y al estudio, y su incondicional esfuerzo diario, este triunfo también es suyo.
<b>Mi madre</b>	María Cifuentes, por su amor en cada acto de servicio. Gracias por alentarme, este triunfo también es suyo.
<b>Mi hermana</b>	María Fernanda Vásquez, por ayudarme en las caídas y su ejemplo de fe, amor y perseverancia.
<b>Mi hermanito</b>	Maynor Vásquez, por ser mi motor para ser mejor persona.
<b>Mis abuelitos</b>	Alcira López, Jovita Saquiché (q. d. e. p.), Carlos Cifuentes (q. d. e. p.) y Ramiro Vásquez (q. d. e. p.) por su amor y ser inspiración para alcanzar esta meta.

**Mi pareja**

Herbert Ramos, por su amistad, amor, así como constante apoyo en la vida y en el camino a esta meta.

**Mi cuñado**

Juan Contreras, por su sinceridad y apoyo en momentos no solo de confusión, también de celebración.

**Mi familia**

Tíos, primos y sobrinos, por estar al pendiente y ser parte de mi formación.

**Mi asesora**

Msc. Lcda. Ingrid Benítez, por ser ejemplo de constante crecimiento y su apoyo en el proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudio y brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

**Escuela de Postgrado  
de Ingeniería**

Por darme la oportunidad de seguir mi formación en el Área de Energía y Ambiente, y por generar la oportunidad de cumplir esta meta.

**Laboratorio de  
Productos Natural,  
Facultad de Farmacia,  
USAC**

Sully Cruz, Nereida Sagastume, Esmirna Prado, Renato Rivera, y demás equipo de trabajo, por su disposición a compartir su conocimiento y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

**Laboratorio de  
Análisis  
Fisicoquímico, CII,  
USAC**

A todo su personal, por el apoyo de sus instalaciones y confianza para este proyecto.

**Coordinador de  
Química Industrial,  
CII, USAC**

Cesar García, por su incidencia en mi formación como profesional.

**Coordinador de la  
Maestría en Energía y  
Ambiente**

Juan Carlos Fuentes, por su disposición a ayudar y compartir sus conocimientos.

**Revisor de tesis**

José Rosal, por el interés y apoyo en el proceso de graduación.

**Mis amigos**

Por los lazos profesionales y de amistad creados, por todos los momentos compartidos y lecciones aprendidas no solo de estudio, sino de vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IV
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Gestión integral de residuos sólidos.....	4
1.3. Economía circular .....	6
1.3.1. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos .....	7
1.4. Producción y consumo de café en Guatemala .....	7
1.4.1. Cafeterías en la ciudad de Guatemala .....	9
1.4.1.1. Tratamiento de residuos en cafeterías .....	10
1.5. Características del café guatemalteco.....	10
1.5.1. Compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante .....	12
1.5.2. Compuestos Antioxidantes del café.....	15

1.6.	Espectrofotometría para la determinación de compuestos fenólicos .....	17
1.6.1.	Métodos para evaluar la capacidad antioxidante ....	19
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
2.1.	Selección de cafeterías a estudiar .....	21
2.2.	Valoración másica de café consumido en cafeterías seleccionadas .....	24
2.3.	Determinación de capacidad antioxidante.....	26
2.3.1.	Muestreo de café consumido en cafeterías seleccionadas.....	26
2.3.1.1.	Técnica de cuarteo .....	27
2.3.2.	Secado .....	28
2.3.3.	Tamizaje de muestra .....	30
2.3.4.	Determinación de mejor solvente .....	31
2.3.5.	Extracto de café .....	35
2.3.6.	Capacidad antioxidante por método del DPPH .....	39
2.4.	Análisis Estadístico de datos obtenidos .....	42
2.4.1.	Comparación de medias para datos pareados.....	43
2.4.2.	ANOVA.....	45
3.	RESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	47
3.1.	Cuantificación de borra generada mensual.....	47
3.1.1.	Generación mensual .....	47
3.1.2.	Análisis de varianza para borra generada .....	56
3.1.3.	Análisis de varianza para generación por días.....	64
3.2.	Extracto de café .....	66
3.2.1.	Humedad.....	66
3.2.2.	Granulometría .....	67

3.2.3.	Prueba de mejor solvente .....	68
3.2.4.	Rendimiento.....	69
3.3.	Capacidad antioxidante .....	70
3.3.1.	Prueba de datos pareados .....	73
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	75
	CONCLUSIONES .....	81
	RECOMENDACIONES .....	83
	REFERENCIAS .....	85
	APÉNDICES .....	93

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Distribución del servicio de recolección de residuos sólidos.....	5
2.	Fenoles totales en hoja y grano de café de Guatemala.....	15
3.	Actividad antioxidante de grano y hoja de café en Guatemala .....	16
4.	Localización de cafeterías seleccionadas en circuito cerrado .....	23
5.	Recipientes para recolección de café .....	24
6.	Técnica de cuarteo aplicada en borra de café .....	28
7.	Sistema de lixiviado para método de mejor solvente .....	32
8.	Tintura obtenida según los diferentes solventes.....	33
9.	Sólidos disueltos según los diferentes solventes .....	34
10.	Percolación de café pre y poslixiviado .....	36
11.	Sistema de rotavapor.....	37
12.	Extracto al salir del sistema rotavapor .....	38
13.	Diluciones de extracto con metanol .....	39
14.	Placa de reacción con DPPH y metanol como blanco.....	40
15.	Reacción con radical DPPH sin iluminación .....	41
16.	Lector de microplacas para absorbancia BioTek ELX800 .....	42
17.	Modelo matemático de borra generada en sede Aguilar Batres .....	48
18.	Modelo matemático de borra generada en sede La Paz .....	49
19.	Modelo matemático de borra generada en sede Petapa .....	51
20.	Modelo matemático de borra generada en sede San Juan .....	52
21.	Modelo matemático de borra generada en sede Vista Hermosa II .....	54
22.	Prueba de normalidad de Anderson-Darling para borra de café bajo transformación logarítmica.....	57

23.	Prueba de igualdad de varianza para borra de café, con datos transformados logarítmica.....	58
24.	Intervalos de confianza de 95 % de Tukey simultáneos para las diferencias de las medias para peso, sedes en primera ruta .....	61
25.	Intervalos de confianza de 95 % de Tukey simultáneos para las diferencias de las medias para peso, sedes en segunda ruta.....	62
26.	Prueba de homocedasticidad con los días como factor analizado.....	64
27.	Intervalos de confianza de producción de borra respecto al día de la semana.....	66
28.	Porcentaje retenido acumulado.....	68
29.	Comportamiento de Inhibición de radical DPPH por café lixiviado.....	71
30.	Comportamiento de Inhibición de radical DPPH por café prelixiviado.....	72

## TABLAS

I.	Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede Aguilar Batres.....	49
II.	Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede La Paz .....	50
III.	Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede Petapa.....	51
IV.	Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede San Juan .....	53
V.	Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede Vista Hermosa II.....	55
VI.	Generación mensual según sedes y su promedio quincenal y mensual.....	56
VII.	ANOVA para producción de borra en cafeterías analizadas .....	59

VIII.	Agrupación de medias para la producción de borra por el método de Tukey .....	60
IX.	ANOVA para primera ruta: Aguilar Batres y San Juan.....	63
X.	ANOVA para segunda ruta: La Paz y Vista Hermosa II .....	63
XI.	ANOVA con dos factores: sede y día de la semana .....	65
XII.	Humedad de café antes y después de lixiviar.....	67
XIII.	Sólidos disueltos en la preparación de café.....	67
XIV.	Sólidos totales de residuo de café poslixiviado.....	69
XV.	Sólidos totales de residuo de café pre lixiviado .....	69
XVI.	Rendimiento de extracción .....	70
XVII.	Concentraciones óptimas para el ensayo DPPH .....	70
XVIII.	Inhibición al 50 % de radical DPPH por café lixiviado.....	71
XIX.	Inhibición del 50 % de radical DPPH por café prelixiviado.....	72
XX.	Prueba de medias para datos pareados de café pre y poslixiviado .....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$A$	Absorbancia
$CA_l$	Capacidad antioxidante del café poslixiviado [mg/mL]
$CA_v$	Capacidad antioxidante del café virgen prelixiviado [mg/mL]
$\% \Delta CA$	Capacidad antioxidante perdido en lixiviación
<b>cm</b>	Centímetro
$\epsilon$	Coeficiente de absortividad molar
$r^2$	Coeficiente de determinación
$C$	Concentración de la muestra [M]
$CI_{50}$	Concentración media inhibitoria, concentración del extracto requerida para reaccionar con el 50 % del radical.
$\sigma$	Desviación estándar
$S_d$	Desviación estándar de las diferencias
<b>d</b>	Días
$d_i$	Diferencia entre tratamientos de la muestra i
<b>F</b>	Estadístico F de Fisher
<b>g</b>	Gramos
$I_o$	Intensidad de luz que incide sobre la muestra y que proviene de la fuente
$I_t$	Intensidad de luz transmitida por una muestra
<b>b</b>	Longitud de la trayectoria del haz de luz a través de la muestra [cm]

$\bar{d}$	Medida de las diferencias
$d_o$	Media poblacional de las diferencias pareadas
$\mu L$	Microlitros
$mg$	Miligramo
$mL$	Mililitro
$mM$	Milimolar
$nm$	Nanómetro
$\alpha$	Nivel de significancia estadística
$N$	Número de pares observados
$m_o$	Peso de la muestra inicial, colocada en el primer tamiz [g]
$P_m$	Peso de la muestra inicial, húmeda [g]
$m_t$	Peso de tintura colocada en la cápsula [g]
$P_f$	Peso final con muestra seca [g]
$m_f$	Peso final de tamiz o cápsula con muestra retenida [g]
$P_o$	Peso inicial con muestra seca [g]
$\%H$	Porcentaje de humedad
$\%ST$	Porcentaje de sólidos disueltos o suspendidos
$\%R$	Porcentaje de sólidos retenidos en el tamiz
$T_o$	Tara inicial de tamiz o cápsula [g]
$T$	Transmitancia
$AD$	Valor de prueba Anderson-Darling
$p$	Valor estadístico de probabilidad
$t$	Valor estadístico t-de Student

## GLOSARIO

<b>Agua desmineralizada</b>	Agua baja en sólidos disueltos.
<b>Antioxidante</b>	Que evita la oxidación a una sustancia o a un producto.
<b>Asíntota</b>	Gráfica que tiende a acercarse a un determinado valor, infinitamente.
<b>Barista</b>	Al referirse a cafeterías, aquellas que realizan una sola percolación al café, es decir, utilizan café expreso en sus bebidas.
<b>Borra</b>	Residuo sólido de café molido luego de percolado.
<b>Coffeeshop</b>	Restaurante destinado principalmente a la venta de café en sus distintas presentaciones.
<b>Cuarteo</b>	Técnica utilizada para obtener una muestra representativa, pequeña.
<b>Desecador</b>	Recipiente que ayuda a mantener una muestra limpia y deshidratada en un sistema cerrado.
<b>Deshumidificado</b>	Que ya no tiene humedad.

<b>DPPH</b>	Compuesto orgánico 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, radical libre con una molécula hidrógeno receptora de antioxidantes.
<b>Fenol</b>	Compuesto orgánico, aromático que contiene el grupo hidroxilo como su grupo funcional.
<b>GIRS</b>	Gestión integral de residuos sólidos.
<b>Hidroxilo</b>	Radical formado por un átomo de hidrógeno y otro de oxígeno.
<b>Homocedasticidad</b>	Cuando la varianza del error condicional a las variables explicativas es constante a lo largo de las observaciones.
<b>Homogéneo</b>	Sistema que presenta las mismas propiedades intensivas en cualquier parte del sistema.
<b>Ion</b>	Átomo que está cargado eléctricamente.
<b>Lixiviado</b>	Líquido resultante de la percolación de un líquido con un sólido.
<b>Longitud de onda óptima</b>	Longitud de onda de máxima absorción.

<b>Micotoxina</b>	Metabolitos secundarios tóxicos, de composición variada, producidos por organismos del reino Fungi, que incluye setas, mohos y levaduras.
<b>Organoléptico</b>	Que se percibe con los sentidos.
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno, es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución.
<b>Presión de vacío</b>	Presión por debajo de la atmosférica.
<b>Radical libre</b>	Especie química que posee uno o más electrones desapareados.
<b>Rotavapor</b>	Dispositivo utilizado para la evaporación de sustancias mediante destilación.
<b>Sílicagel</b>	Dióxido de silicio, producto granular, absorbente.
<b>Sólidos disueltos</b>	Partículas insolubles suspendidas en un líquido.
<b>Solubilidad</b>	Capacidad de una sustancia para disolverse en otra.
<b>Solvente</b>	Compuesto capaz de solubilizar una sustancia.
<b>Tamiz</b>	Cedazo tupido, que deja pasar partículas de un tamaño determinado.

<b>Tintura</b>	Líquido, solvente que contiene partículas disueltas de una muestra sólida.
<b>Tubo condensador</b>	Equipo que se utiliza para condensar los vapores que se desprenden de un sistema de destilación.
<b>Volatilidad</b>	Tendencia de un compuesto de pasar a fase gaseosa.

## RESUMEN

La investigación se realizó sobre la línea de gestión ambiental, específicamente tratamiento y estrategia en la gestión de residuos, siguiendo los objetivos del Acuerdo Gubernativo 281-2015. Se estudió el residuo de café molido poslixiviado, más conocido como borra de café a fin de comprobar su futura implementación en un proceso de economía circular.

La interrogante principal fue la capacidad antioxidante del residuo y su comparación con el café sin lixiviar. Se evaluó la propiedad en cuestión del remanente del café molido de cafeterías de alto consumo en la ciudad de Guatemala por medio del método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) complementando con un modelo de la generación de residuo mensual.

La preferencia entre cadenas de cafeterías fue evaluada mediante un estudio previo en todo el territorio nacional, entre los consumidores de la bebida de café, enfocado en el consumo en el área de estudio, ciudad de Guatemala, priorizando cafeterías que ofrecen café nacional. Cinco sedes de la cadena preferida fueron partícipes en el estudio, seleccionadas en base a posición estratégica entre zonas comerciales, salidas o entradas al área delimitada.

Con el fin de cuantificar globalmente el residuo generado en cafeterías se realizó un muestreo por 15 días, proyectando con un modelo matemático la generación mensual. Se seleccionó una cantidad de muestra de cada una de las sedes por medio de cuarteo, con el fin de obtener una muestra general libre de desviaciones por preferencia entre ellas.

Se extrajeron los componentes antioxidantes, no sin antes realizar un estudio del mejor solvente para la muestra antes y después de lixiviar, siendo este etanol al 70 %. El extracto se obtuvo mediante un equipo rotavapor, por un mes aproximado para cada muestra. Luego, se realizó la determinación de capacidad antioxidante de ambos extractos por medio del método DPPH.

La producción de residuo no se pudo generalizar para todas las cafeterías analizadas, ya que influye el mes estudiado; no obstante, es factible su implementación como fuente de antirradicales ya que la capacidad antioxidante remanente es atractiva para procesos industriales.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Descripción general

El aumento del consumo en el país se ve reflejado en la apertura de *coffeeshops* lugares destinados al consumo de bebidas de café (Jiguan, 2018). Así también, el aumento de artículos de prensa centrados en dar publicidad y resaltar cafeterías y baristas guatemaltecos ha propiciado el consumo interno de café, moldeando la cultura citadina guatemalteca a degustar café más de una vez al día y a la vez aumentando la generación del residuo de café molido poslixiviado.

El guatemalteco tiene el hábito de consumir en promedio, un mínimo de dos tazas de café al día (Batrez, Hernández, López, Pedroza, y Solorzano, 2013). Esta práctica, genera una gran cantidad de residuo, tomando en cuenta que más del 90 % en masa del café molido es desechado como borra (Rodríguez y Zambrano, 2010). Siendo este un desecho significativo entre los residuos orgánicos del cual no se tiene antecedentes de uso en el área de estudio.

El café contiene compuestos antioxidantes los cuales son requeridos en la elaboración de cosméticos, fármacos y alimentos. Se estudió el residuo sin valorización, desechado sin tratamiento previo, para el cual, mediante la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos, del Acuerdo Gubernativo No. 281-2015, pueda implementarse un programa de economía circular.

Los compuestos antioxidantes son requeridos en distintas industrias, entre ellas el área de alimentos. Especialmente los conservantes en alimentos ya que accionan por medio de componentes antioxidantes (Gordon, Pokorny, y Yanishlieva, 2001).

En el área de salud, existen varias investigaciones de los beneficios que portan los compuestos antioxidantes. Gotteland y de Pablo (2007), determinaron una relación inversa entre el padecimiento de enfermedades como diabetes y enfermedades de daño hepático y otras enfermedades neurodegenerativas y el consumo de compuestos antioxidantes. También se han demostrado beneficios antiinflamatorios en el área dental (Aragón, Macías, Morones y Villanueva, 2016).

Varios autores han estudiado el rol de los compuestos antioxidantes en el área cosmética, entre ellos, Castaño y Hernández (2018) concluyendo que la capacidad antirradical ayuda a neutralizar el estrés oxidativo de la piel y así retrasar su envejecimiento. Así también, estos compuestos son aplicables en afecciones dermatológicas (Lupo y Stallings, 2009).

Las implementaciones de antioxidantes se han determinado en varios estudios, por lo que se podrían aplicar al extracto de café poslixiviado. Existen diversidad de industrias que podrían utilizar el residuo.

- Definición del problema

La principal característica del café es la cantidad de fenoles que contiene, estos compuestos le dan al grano su característica más conocida como capacidad antioxidante, la cual ha sido aprovechada en la realización de cremas,

spray antiolores y compostaje. Por lo tanto, se cuestiona si aún existe esta cualidad en el residuo de café molido poslixiviado.

En Colombia, se demostró que aún queda una cantidad significativa de fenoles con capacidad antioxidante en la borra de café (Cortes, Ortiz, Ramírez y Aristizabal, 2017). No obstante, en Guatemala no se encontraron antecedentes sobre este residuo, a pesar de ser un país con alto porcentaje de cosecha y consumo.

Estudio previo, demuestra un promedio de 2600 gramos de residuo diarios desechados por una cafetería en una de las arterías principales de la ciudad (apéndice 1, figura 1.1.). El valor de borra es el 90.50 % del grano, representando su mayoría como residuo. Teniendo en cuenta la cantidad de cafeterías en el país, la borra es un residuo representativo en la ciudad.

Si se demuestra que el residuo aún tiene propiedades antioxidantes aprovechables, se debe aclarar la relación de esta propiedad con su valor inicial antes de la lixiviación del grano molido, y así concluir su viabilidad como materia prima.

- Delimitación del área de estudio

El área de interés es la ciudad de Guatemala, Guatemala. Se realizó el estudio en 5 franquicias de una de las cafeterías de más popularidad (apéndice 1, figura 1.2.). Las franquicias seleccionadas se encuentran ubicadas estratégicamente en calzadas principales y zonas comerciales de la ciudad, siendo estas: calzada San Juan, carretera al Atlántico, avenida Petapa, Vista Hermosa II, calzada Aguilar Batres.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio:

- ¿Es posible valorizar el residuo de café molido poslixiviado por su capacidad antioxidante?

Para responder esta interrogante, se deben responder las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es el comportamiento en la generación diaria de residuo de café molido desechado sin previo tratamiento?
- ¿Es posible la medición de capacidad antioxidante del residuo de café molido poslixiviado?
- ¿Existe diferencia entre las propiedades aprovechables del café molido antes y después de percolado?

## OBJETIVOS

- General

Evaluar la viabilidad del residuo de café molido poslixiviado de cafeterías de alto consumo en la ciudad de Guatemala, como materia prima en procesos industriales, a través de su capacidad antioxidante.

- Específicos

- Generalizar la producción del residuo de café molido poslixiviado en cafeterías concurridas en la ciudad de Guatemala por medio de su cuantificación másica.
- Evaluar capacidad antioxidante del residuo sólido de café molido poslixiviado, por medio del método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo.
- Comparar la capacidad antioxidante pre y post lixiviado del café molido determinando su porcentaje residual.

## HIPÓTESIS

- Hipótesis nula

No existe diferencia significativa entre el café antes y después de lixiviado, con un nivel de confianza de 95 %.

- Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa entre el café antes y después de lixiviado, con un nivel de confianza de 95 %.

## RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, a nivel exploratorio ya que no existe información de investigaciones previas sobre el residuo generado por las cafeterías tipo barista en el país, cafeterías que realizan una sola percolación al café, es decir, utilizan café expreso en sus bebidas.

Se realizó un estudio previo por medio de encuestas virtuales a más de 100 personas en todo el territorio nacional (apéndice 1, figura 1.4.), sobre las cafeterías más populares en la ciudad de Guatemala, del cual se seleccionó la cafetería con más franquicias en el área de estudio. Se realizó el estudio en 5 franquicias, cubriendo las salidas y entradas a la ciudad: calzada San Juan, carretera al Atlántico, avenida Petapa, Vista Hermosa II, calzada Aguilar Batres.

El siguiente proceso se llevó a cabo diariamente, con la muestra obtenida de las 5 franquicias: primero, se pesó el residuo por individual; posteriormente por medio de la técnica de cuarteo se seleccionaron 50.00 gramos húmedos provenientes de cada una de las franquicias, la cual fue secada a 40.00 °C por 48 horas, para obtener una humedad menor al 10 % y el residuo seco de todas las franquicias formó una muestra general para la determinación de la capacidad antioxidante.

Al ser una investigación exploratoria y por presupuesto, solamente se analizó la capacidad antioxidante una vez por quintuplicado del residuo, igual que del café sin lixiviar; el cual se obtuvo por medio de la compra del grano en la cafetería, éste fue molido a la medida de grano utilizada para la preparación de sus bebidas.

La muestra general del residuo fue homogénea, sin preferencias por procedencia, aspecto, tamizaje u otra variable que pudiera influir en la determinación de la propiedad analizada. Las franquicias utilizan el mismo procedimiento para la preparación de sus bebidas por lo que unir las muestras recolectadas no representó un cambio en la medición de capacidad antioxidante y su porcentaje residual.

Para el extracto se evaluaron tres factores: humedad, tamaño de grano y solvente. El tercer factor, la evaluación de mejor solvente, se realizó por medio de diferentes porcentajes de etanol. La extracción fue por medio de un rotavapor por un mes aproximadamente, para cada uno de los extractos (pre y poslixiviado). Luego se procedió a determinar capacidad antioxidante por medio del método DPHH, adaptado para utilizar una curva de calibración con la lectura en el espectrofotómetro a 490 nm.

Finalizando se realizó un estudio numérico utilizando técnicas como porcentaje, para comparar inicialmente la diferencia de capacidad antioxidante de ambas muestras. Posteriormente, se elaboró un estudio estadístico de datos pareados para evaluar la diferencia entre medias de capacidad antioxidante del grano molido de café antes y después de lixiviado; así también, estudios de ANOVA para determinar la diferencia de generación de residuo en las franquicias analizadas.

## INTRODUCCIÓN

El café es un grano popular entre la población guatemalteca. Este, paralelo al ser utilizado en la preparación de la bebida se considera una fuente de antioxidantes utilizado en industrias cosméticas, farmacéuticas y de alimentos. Su consumo en el país conlleva un residuo sólido el cual no cuenta con tratamiento adecuado y su disposición final es el botadero municipal.

La normativa sobre la gestión de residuos sólidos se rige específicamente por el Acuerdo Gubernativo 281-2015. Siguiendo con los objetivos de la política, la investigación tiene como objetivo dar las bases para una futura implementación de economía circular del residuo analizado, por medio de su propiedad antioxidante.

La información sobre el residuo en el área de estudio es nula. Se tuvo información de las cafeterías inscritas en el registro de comercio, principales productoras del residuo de café molido poslixiviado; sin embargo, no existen datos sobre su generación, su impacto en los residuos sólidos, ni del remanente de propiedades, por lo que se requirió realizar un estudio exploratorio.

El estudio se centró en obtener datos de 5 cafeterías ubicadas en las arterias principales de la ciudad. Los centros cuentan con jornadas desde las 6:00 a.m. hasta las 9:00 p.m., generando en promedio arriba de 84.00 kilogramos mensuales de borra. Posteriormente se realizó la extracción de los compuestos antioxidantes por medio de un rotavapor, extracto utilizado para la determinación de capacidad antioxidante.

En el capítulo 1, se resumieron investigaciones realizadas en distintos países las cuales fueron base para la presente investigación; así también, se describieron conceptos generales sobre la situación general del país en residuos sólidos, su gestión y normativas; se tocaron temas sobre el consumo y producción de café en el país y el área de interés por último, se presentó definiciones y generalidades sobre compuestos antioxidantes, principalmente del café y sus técnicas de evaluación.

En el capítulo 2, se detalló el desarrollo de la investigación, las técnicas y métodos realizados para obtener los datos presentados en el capítulo 3. El desarrollo de la investigación presentó el método de determinación de cafeterías a evaluar y los pasos para valorar másicamente la producción de café en dichas sedes. Posteriormente se detalló el proceso para determinar la capacidad antioxidante, incluyendo la prueba de mejor solvente y el extracto. Finalmente se explicó el análisis estadístico aplicado a los datos obtenidos.

Los resultados fueron divididos en tres secciones: cuantificación de borra generada, extracto de café y determinación de capacidad antioxidante. El extracto de café es la única sección que no contó con análisis estadístico debido al tipo de datos presentados. Por último, el capítulo 4 presentó la interpretación de los resultados obtenidos en el proceso de cuantificación del residuo generado, el extracto obtenido y la comparación de capacidad antioxidante entre extractos, junto con y el análisis estadístico presentado.

La producción de residuo en las cafeterías analizadas no se pudo generalizar, ya que depende de factores como ubicación, mes de producción e infraestructura. Esto no influyó en las propiedades fisicoquímicas del residuo, el cual cuenta con capacidad antioxidante mejor al del grano de café guatemalteco según investigación previa (Cruz, Marroquín, Pinales y Ramos, 2018).

Los resultados dieron pauta para la integración del residuo en un círculo económico viable para generadores e interesados en fuentes antioxidantes, por lo que es factible proporcionar más adelante, un valor económico al residuo de café molido poslixiviado, por medio de un análisis financiero.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

Guatemala es un país consumidor, productor y exportador de café. El consumo de la población genera grandes cantidades de residuos sólidos del sobrante de café molido, los cuáles no tienen tratamiento. Existen distintas investigaciones sobre los componentes del café en su producción, pero muy pocas sobre el sobrante del café o comúnmente llamado Borra. Por ello se utilizaron investigaciones relacionadas con el café y con la metodología a utilizar, sintetizadas a continuación, como base.

Por su parte, Rodriguez y Zambrano (2010) mencionó que por medio del Centro de Investigación de Café de Colombia, realizaron una investigación sobre los residuos que produce toda la industria del café. El boletín técnico proporciona datos del residuo por kilogramos de café en cereza. El mayor residuo sólido generado es la pulpa, seguido del mucilago de café; en tercer lugar, se encuentra la borra de café, 104.00 gramos. Solamente 58.00 gramos de un kilo, es la cantidad de café molido que se disuelve en la bebida. El desperdicio de borra es 1.79 veces la cantidad disuelta en una taza de café.

Donangelo y Farah (2006) investigaron sobre los compuestos fenólicos del café, en el laboratorio de bioquímica nutricional de la Universidad Federal de Río de Janeiro, se trabajó con granos de café verde, de los cuales se concluyó que los niveles relativamente altos de ácidos fenólicos, particularmente de ácidos clorogénicos y compuestos relacionados, en las semillas de café reflejan su

importancia fisiológica para la planta de café, así como su contribución significativa a la formación de aroma y sabor de la bebida de café.

En el área de salud, Gotteland y de Pablo (2007), realizaron una revisión sobre los beneficios del café, en la cual llegaron a la conclusión de la existencia de una relación inversa entre el padecimiento de enfermedades como diabetes y enfermedades de daño hepático y otras enfermedades neurodegenerativas, posiblemente asociados con la alta capacidad antioxidante del café, así como, muestran algunos efectos negativos en el consumo como muerte fetal, varios tipos de cáncer, entre otros; de los cuales no se puede concluir ya que los casos necesitan una investigación más profunda.

Lupo y Stallings (2009), consideran el café arábico como una de las fuentes más ricas de antioxidantes; los autores concluyeron que los antioxidantes de productos botánicos para el cuidado de la piel pueden ser beneficiosos para el tratamiento de afecciones dermatológicas. En la reunión anual de la Academia Americana de Dermatología se reconoció el extracto de este grano comercializado para uso tópico bajo el nombre de CoffeeBerry® (JyJ Technologies LC), en febrero del 2007.

En el estudio *Caracterización química de la película plateada del café (Coffea arábica) en variedades Colombia y caturra* se utilizaron tres métodos en la determinación de la capacidad antioxidante de la película plateada de dos variedades de café, el análisis demuestra una gran capacidad antioxidante comparando con la pulpa, cáscara y semilla de otros frutos (Anzola y Sánchez, 2012). La capacidad antioxidante de la película de variedad Caturra solo es superada por la cáscara y semilla del mango, y la cáscara de guayaba, entre los frutos comparados (kiwi, guayaba, naranja, limón, cereza, mango, banano,

melón). Los autores concluyeron que ambas variedades estudiadas presentan alta relevancia de fibra insoluble y marcada actividad antioxidante.

Puertas, Rojano y Villegas, (2013) en su trabajo *Borra de café colombiano (Coffea arabica) como fuente potencial de sustancias con capacidad antirradicales libres in vitro* realizaron el extracto de fenoles para su posterior estudio, por medio de tres solventes. Obtuvieron dos resultados: un mayor rendimiento (56.14 %) con el metanol acidulado, y una mayor capacidad antioxidante en la muestra obtenida de la bebida de café sin tratamiento mediante la extracción etanol: agua 1:1.

Respecto a la capacidad antioxidante de la bebida de café dependiendo de su almacenamiento, Londoño, Naranjo y Quintero (2013) evaluaron un total de 48 productos de café en diferentes tiempos: el almacenamiento, al saber, al inicio y al final de la vida útil del producto. El estudio determinó que la capacidad antioxidante es más alta en cafés tostados y molidos que en solubles; además se concluyó que el tiempo de almacenamiento sí tiene efecto en las propiedades del café.

Entre los beneficios de los compuestos antioxidantes, Magliano (2014) establece que los productos tópicos dermatológicos con estos elementos pueden ser utilizados para contrarrestar el daño que se genera por la radiación ultravioleta en la piel. Los resultados de varios estudios con estos productos apoyan los efectos beneficiosos en varias patologías como el fotoenvejecimiento y el cáncer de piel.

Referente al método experimental, Guija, Inocente, Ponce, y Zarzosa (2015) demuestra en su estudio *Evaluación técnica del DPPH* la disminución del límite de detección para evaluar la capacidad antioxidante a concentraciones altas

(0.20 mM) de DPPH. La investigación se realizó con concentraciones de 0.035, 0.07, 0.10, 0.12 y 0.20 mM, dando resultados variados aún con el mismo valor de  $CI_{50}$ . Estos resultados variantes dan la pauta para fijar un valor de DPPH a seguir en los procesos analíticos. Los autores recomiendan utilizar DPPH a 0.10 mM, ya que a mayor concentración disminuye la sensibilidad para detectar la actividad antioxidante.

Jiguan (2018) en su artículo *Consumo de café aumenta en dos años* en el Diario de Centro América, expone el aumento de café en el mercado interno de Guatemala. El incremento del consumo va del 2 al 4 por ciento al año, a partir del año 2008 según la Organización Internacional de Café. Se verifica el crecimiento del consumo del café, obteniendo más remanente sin ser valorizado.

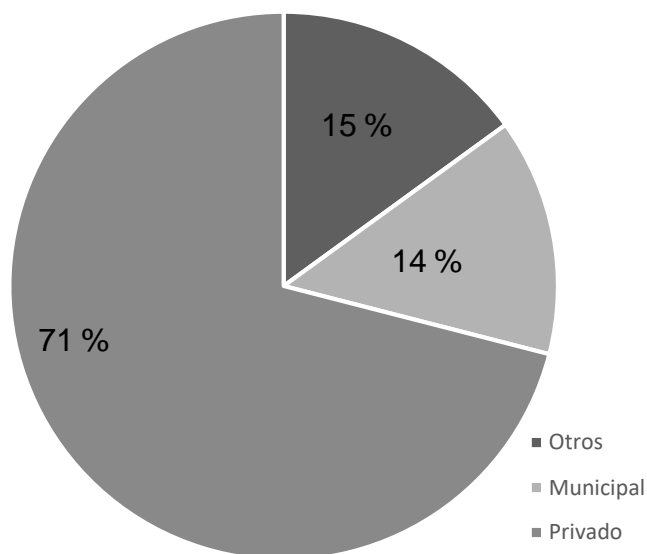
## **1.2. Gestión integral de residuos sólidos**

Desde la época primitiva, los residuos han sido parte del ciclo natural en la tierra; debido a la sobrepoblación actual e industrialización el crecimiento de residuos aumentó, situación que incita a una gestión integral de los mismos. La gestión Integral de residuos sólidos (GIRS) es la recolección, transporte, tratamiento y disposición final del material desechado.

En las primeras ordenanzas de la región interamericana orientadas a prohibir el arrojo de residuos en las calles se dan en los siglos XVI y XVII, implementando su colecta por medio de carretas y mulas (Ojeda, 2018). Actualmente la recolección en la ciudad de Guatemala se da por medio del sector municipal y privado. El 71 % de la recolección doméstica, comercial e industrial es por parte de empresas privadas, el 14 % es recolectado por contratos por servicio con la municipalidad y el porcentaje restante no tiene control tal como se muestra en la figura 1 (Municipalidad de Guatemala, 2020).

En una GIRS, los residuos generados antes de su recolección deben ser separados por su origen de generación y facilitar su tratamiento, luego ser transportados para su tratamiento y finalmente a su disposición final. Los tratamientos que se pueden realizar a los residuos son incineración, compostaje, recuperación o reciclaje, dependiendo de la naturaleza del residuo. Los residuos orgánicos normalmente se destinan a compostaje, por otro lado, objetos poliméricos, de vidrio y metales usualmente se reciclan.

Figura 1. **Distribución del servicio de recolección de residuos sólidos**



Fuente: Municipalidad de Guatemala (2020). *Dirección de gestión y manejo de residuos y desecho sólidos*. Consultado el 27 de julio de 2019. Recuperado de [http://docs.muniguate.com/2021/memoria/arch/Director\\_de\\_Gesti%C3%B3n\\_y\\_Manejo\\_de\\_Residuos\\_y\\_Desechos\\_S%C3%B3lidos.pdf](http://docs.muniguate.com/2021/memoria/arch/Director_de_Gesti%C3%B3n_y_Manejo_de_Residuos_y_Desechos_S%C3%B3lidos.pdf).

En la ciudad de Guatemala no existe la cultura de separación, por lo que lo recolectado va destinado al único lugar autorizado, el vertedero municipal de la

zona 3; sitio que recibe aproximadamente dos mil toneladas de residuos sólidos diariamente (Municipalidad de Guatemala, 2020).

Los beneficios económicos que se obtienen en el vertedero son dos: el reciclaje y biogás. Los sólidos reciclados en el vertedero municipal, son recolectados por guajeros, personas que se dedican a seleccionar residuos para reusar y reciclar, obtienen ganancias comercializando con empresas recicladoras. Esta actividad se ha realizado desde varios años antes que el biogás; el cual se inició solamente en una parte del vertedero, con el fin de generar luz eléctrica por medio de la extracción de gas metano (Municipalidad de Guatemala, 2020).

### **1.3. Economía circular**

Una economía circular es: “Un ciclo de desarrollo continuo que preserva y aumenta el capital natural ” (Cerdá y Khalilova, 2016, p.11 y 12). La idea principal de este concepto es tomar los residuos de la cultura tomar, hacer y tirar, tal como la llama, y volverlos materia prima para otros procesos.

En cuanto al modelo circular, Balboa y Somonte (2014) lo ven como aquel que imita la naturaleza y se conecta con ella; de esta forma, el residuo pierde su condición de tal y se convierte en la materia alimentaria para formar parte de nuevos productos tecnológicos, con un mínimo gasto energético. En conclusión, el modelo circular es la implementación de un sistema integral de los recursos, en los que el desperdicio es mínimo.

El concepto de economía circular se puede aplicar en todos los tipos de residuos. Los residuos orgánicos son una de las ramas más propicias por la

cantidad de residuos generados. Existen investigaciones que apoyan el aprovechamiento de residuos orgánicos bajo el concepto de economía circular. Moreno y Nieto (2018) lo proponen en su trabajo de grado, obteniendo como materia final gas con mayor porcentaje en metano, abono orgánico sólido (*compost*), abono orgánico líquido (*digestato*).

Se puede implementar la economía circular de frutos y granos al utilizar las partes no comestibles para distintos usos que no sean *compost*, por ejemplo, los fenoles le dan al café su olor característico, aprovechables en *spray* antiolores; así también, el grano cuenta con propiedades antioxidantes útiles en el área de farmacéuticos como cremas o incluso medicinas.

### **1.3.1. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos**

La gestión de residuos en el país está regulada desde la constitución política de la República de Guatemala hasta distintos decretos, acuerdos gubernativos y ministeriales, principalmente el Acuerdo Gubernativo 281-2015, el cual tiene como objetivo principal el fortalecimiento de la gestión integral de los residuos sólidos, involucrando entes generadores, población y responsables de la disposición final.

### **1.4. Producción y consumo de café en Guatemala**

El café es una planta originaria de África, su propagación se produjo entre los siglos XIII y XV; sin embargo, fue hasta el siglo XVIII que llegó a territorio latinoamericano. El café es un cultivo que florece solamente en ambiente húmedo, condición que se encuentra en las tierras cerca del ecuador terrestre le favorecen, ya que cuentan con condiciones climáticas relativamente estables.

Son siete países en Latinoamérica que basa su economía en este cultivo, entre ellos está Guatemala.

Guatemala es un país productor, consumidor y exportador del café. Según datos provistos por ANACAFÉ, el área empleada para producir café es alrededor de 360 mil manzanas. La producción de café en Guatemala tuvo auge en la década de los ochenta y noventa. A pesar de su decaimiento por la baja en los precios del mercado, Guatemala se encuentra entre los países calificados con la mejor producción del grano en el mundo y es el mayor productor de café en Centroamérica.

Asimismo, Cuadras (2018) presenta una relación entre el consumo y exportación de café de 1:9 a pesar de tener una gran producción, el consumo del café en el país no es alto. El café tostado y molido es parte de la canasta básica de la población guatemalteca, de esta forma se ve la importancia del grano en el día a día de la población guatemalteca demostrado en las estadísticas aumentando el consumo local año con año un aumento aproximadamente un 2 % (Jiguan, 2018).

Camey (2016) realizó una investigación sobre el consumo de café, en la cual determinó que el lugar de trabajo es el segundo lugar de consumo en Guatemala, con un 30.60 %. En su investigación, concluye que poco más del 30 % consume entre 3 a 4 tazas de café, siendo en su mayoría mujeres. Para el 2016 arriba del 50 % poblacional consumía 2 tazas de café diario; con las estadísticas del aumento, se predice que para el 2026 el consumo habrá aumentado a 3 tazas. Diferentes asociaciones como ANACAFÉ y diferentes *CoffeShops* tienen campañas para seguir incrementando el consumo interno de café (Dardón y Luna, 2019).

### **1.4.1. Cafeterías en la ciudad de Guatemala**

La ciudad de Guatemala cuenta con distintas cafeterías, las cuales consumidores utilizan como centros sociales, de trabajo o solamente de paso. Existen cafeterías con una sola sede, de gran popularidad entre la población guatemalteca; las mismas cuentan con gran afluencia, aun así, no están al nivel de las más comerciales, más conocidas como *coffeeshops*.

Marcas internacionales han tomado batuta en este nicho de mercado; a pesar de ello, existen *coffeeshops* de origen guatemalteco que han establecido estrategias para su reconocimiento nacional. Existen varios cafés con no más de 3 sedes, reconocidos en la ciudad capital y así cada departamento de Guatemala cuenta con cafeterías de distintos grados de popularidad; interdepartamentalmente son 3 las cafeterías más reconocidas, según estudio previo realizado por medio de encuestas (apéndice 1, figura 1.5.).

Las cafeterías guatemaltecas utilizan café del país en la preparación de bebidas, muchas de ellas ofrecen la venta libre del mismo. Entrevistas en distintas *coffeeshops* dictan una afluencia mayor en el horario de la tarde, especialmente a la hora de almuerzo y al finalizar el horario laboral. Los días más visitados varían dependiendo del mes, generalmente son jueves y sábado, llegando a producir más de cuatro mil gramos de residuo de café molido por cafetería.

Las cafeterías con más popularidad en la ciudad capital cuentan en promedio con 25 sedes en distintos puntos clave de consumo: zonas céntricas, zonas de comercio, vías principales, y salidas/entradas de la ciudad; sin tomar en cuenta las sedes ubicadas en ciudades aledañas a la capital como: Mixco, Santa Catarina Pinula, entre otras.

#### **1.4.1.1. Tratamiento de residuos en cafeterías**

Los residuos sólidos se clasifican en varias categorías, siendo la más prominente los orgánicos, según investigaciones realizadas en distintos lugares (Berent y Vedoya, 2005). De los residuos municipales en Guatemala, el 65 % pertenecen a residuos orgánicos, del cual solamente el 4.50 % se recicla o se convierte en *compost*, un claro índice de la falta de gestión en los residuos del país (González, 2019).

Las cafeterías son parte del sector terciario de la economía guatemalteca, esto quiere decir que en ellos no se produce ningún producto, su objetivo es ofrecer el servicio de alimentos. Debido a la naturaleza de su servicio genera residuos orgánicos en su mayoría. Entre los residuos orgánicos se encuentra la borra, o residuo de café molido poslixiviado, prominente en estos centros.

La borra de café determinada por Rodriguez y Zambrano (2010) es de 104 gramos por kilogramo en grano después de la preparación de la bebida, por lo que forma parte esencial de los residuos sólidos del país máxime en cafeterías dónde comercialización es su objetivo principal.

#### **1.5. Características del café guatemalteco**

Se ha caracterizado el café de Guatemala principalmente por sus características organolépticas, por otro lado, de sus propiedades químicas hay pocos estudios. El café producido en Guatemala esta categorizado según la región de cultivo, determinada por la altura.

De las propiedades químicas del café guatemalteco se saben los marcadores químicos; 6.68% de ácido clorogénico en la región de Santa Rosa; 1.19 % de cafeína y 3.29 % de azúcares (principalmente maltosa) en la región de Tajumulco, San Marcos (Cruz *et al.*, 2019).

Generalmente el café cuenta con una acidez pronunciada, buen cuerpo (densidad adecuada), cambiando el olor según región en la que se cultivó. La página de ANACAFÉ da las características generales que tiene el café producido en Guatemala, se dividen en las siguientes tres categorías:

- Cobán: este departamento se encuentra entre 1,300.00 y 1,500.00 metros sobre el nivel del mar; cuenta con superficie montañosa que ayuda al clima lluvioso. Las variedades que se producen en esta región son: Catuaí, Pache, Caturra, Maragogype y Bourbon. Los suelos se caracterizan por su textura arcillosa y composición mayormente de calizas. Estas características le dan a la bebida de café cosechado en Cobán un cuerpo fino, con sabores frutales.
- Antigua Guatemala: las variedades de café que crecen en este departamento son: Bourbon, Caturra y Catuaí, arriba de 1500.00 metros sobre nivel del mar. Entre las características especiales del suelo se encuentra su bajo nivel de humedad, bajas temperaturas y riqueza en minerales por su origen volcánico. La bebida de café de esta región se caracteriza por su particular sabor dulce.
- Huehuetenango: este departamento cuenta con una altura de hasta 2000.00 metros sobre el nivel del mar, siendo la máxima entre las regiones. Se distingue por su clima seco y frío; a pesar de ello, no hay

heladas en sus montañas, lo que brinda un gran beneficio a la siembra de café. La bebida de café cuenta con una apariencia fuerte y con un ligero sabor amargo. Las variedades que se cosechan en esta región son: Bourbon, Caturra y Catuaí.

### **1.5.1. Compuestos fenólicos y su capacidad antioxidante**

Los compuestos fenólicos o polifenoles son aquellos que están formados por estructuras aromáticas unidas con al menos un hidroxilo; algunos también incluyen derivados funcionales. Se diferencian de los alcoholes por la posición del grupo hidroxilo. Los fenoles presentan diversas propiedades, como por ejemplo: antibiótico, antiparásito, citotóxica y propiedades antioxidantes, entre otros.

Diversas investigaciones sobre fenoles en el grano de café han dado como resultado los distintos fenoles que componen el grano. Cruz *et al.* (2018) cita algunas de estas investigaciones en las que se evalúa la cafeína, dipenoides, ácido cafeico, ácido ferúlico, clorogénico, sináptico polifenoles, moléculas heterocíclicas, entre otros; todos ellos promueven positivamente la capacidad antioxidante al tratar diversos tratamientos para radicales libres.

Halliwell y Gutteridge (2015) definen un antioxidante como: “La sustancia que cuando está presente en una concentración baja comparada con un sustrato oxidable en el medio inhibe la oxidación” (p. 77). Los fenoles presentan la cualidad antioxidante gracias a su estructura química; a pesar que todos presentan grupo hidroxilo, no todos presentan actividad antioxidante.

La actividad antioxidante se da según la estructura molecular del fenol, la cual permite o no interactuar por distintos mecanismos de reacción con los radicales libres. Las clasificaciones que más presentan esta propiedad, son: fenoles simples, fenoles ácidos, ácidos hidroxicinámicos, Cumarinas, Quinonas, Betacianinas, Lignanos, y algunos flavonoides (Bravo, Mollinedo, Peñarrieta, Tejeda, y Vila, 2014).

Algunos fenoles pueden funcionar como un impedimento estérico por su estructura química, lo cual previene reacciones oxidantes. Esta es una forma de actuar como antioxidante, previniendo reacciones que producen radicales libres. Esta característica es propia del ácido cafeico, compuesto esencial en el grano de café (Cantero, 2009).

Los fenoles actúan por medio de una amplia variedad de mecanismos de acción cada uno según sus propias características, como su estructura química. El impedimento estérico de algunos compuestos fenólicos, como ácido cafeico, hace que se produzcan más frecuentemente las reacciones que dan productos no reactivos frente a las reacciones que dan radicales libres, es decir previenen el inicio de cadenas de reacciones de oxidación.

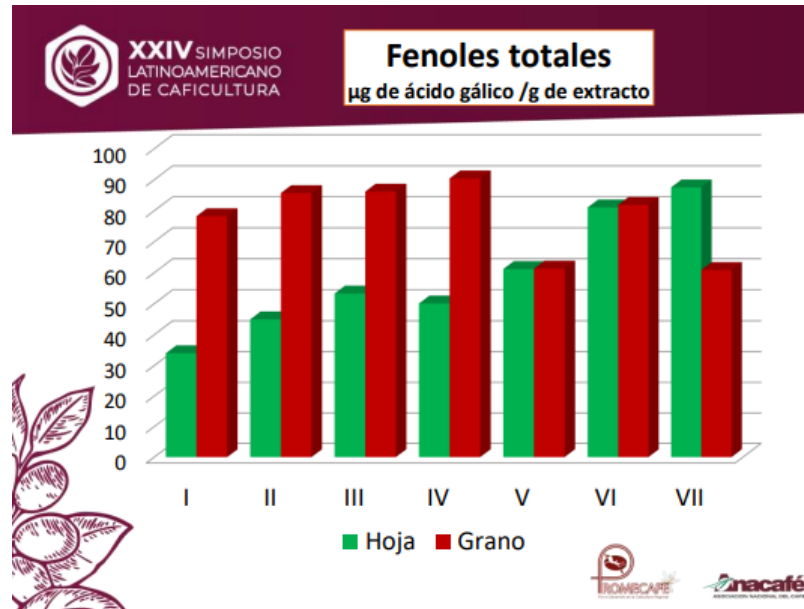
A pesar de las dificultades, los mecanismos antioxidantes de algunas familias de compuestos fenólicos están bien caracterizados, ácidos fenólicos y gran número de flavonoides. El mecanismo más conocido es el secuestro de radicales libres en los procesos de protección frente a la oxidación lipídica. El papel antioxidante de naturaleza fenólica ( $\text{ArOH}$ ) es detener la cadena de oxidación al reaccionar con el radical peroxi formado.

La aplicación de la capacidad antioxidante es amplia en la industria cosmética, alimenticia, agrícola e incluso medicinal. Se ha investigado sobre los

efectos de esta característica en la prevención de enfermedades como diabetes, enfermedades de la piel, así también se utiliza en cremas antiedad, y otros usos cosméticos. En el área agrícola se utiliza su propiedad como abono. La rama está aún en investigación, ya que existen varios productos naturales con esa cualidad.

Los fenoles totales en el café de Guatemala llegan hasta por arriba del 90.40  $\mu\text{g}$  ácido gálico/g de extracto (región de Santa Rosa), como lo muestra la figura 2, siendo un marcador de sus buenas cualidades organolépticas

Figura 2. **Fenoles totales en hoja y grano de café de Guatemala**



Nota: gráfica comparativa de fenoles totales de la hoja y grano de café de Guatemala, en porcentaje de  $\mu\text{g}$  de ácido gálico/ g de extracto, siendo el grano el más alto a excepción de la región VII (Usumatlán, Zacapa).

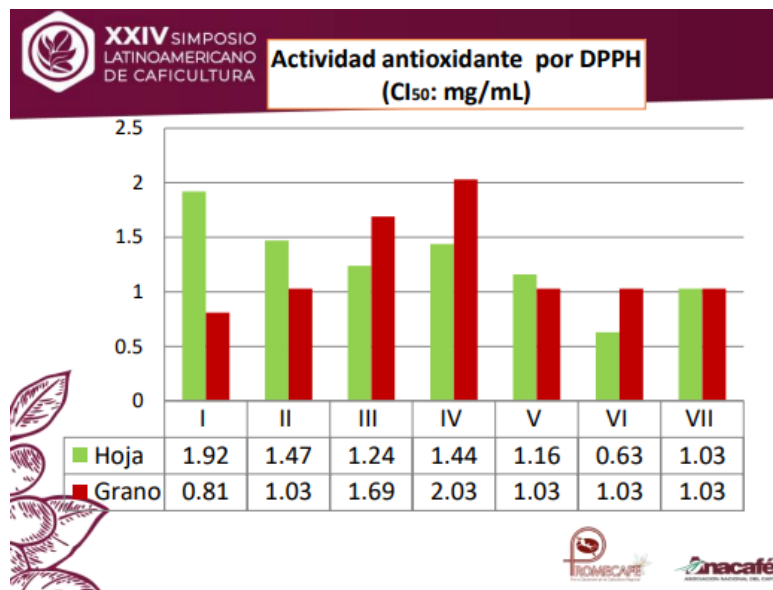
Fuente: Cruz *et al.* (2019) *Simposio Latinoamericano de caficultura*. Consultado: 26 de agosto del 2019. Recuperada de [https://promecafe.net/wp-content/uploads/2019/XXIV\\_Simposio\\_Multimedia/Panel\\_IV/6.Potencial\\_antioxidante\\_y\\_composicio%CC%81n\\_qui%CC%81mica\\_de\\_hojas\\_y\\_granos\\_\\_de\\_cafe%CC%81\\_proveniente\\_de\\_7\\_regiones\\_de\\_Guatemala\\_-\\_Sully\\_Cruz.pdf](https://promecafe.net/wp-content/uploads/2019/XXIV_Simposio_Multimedia/Panel_IV/6.Potencial_antioxidante_y_composicio%CC%81n_qui%CC%81mica_de_hojas_y_granos__de_cafe%CC%81_proveniente_de_7_regiones_de_Guatemala_-_Sully_Cruz.pdf).

### 1.5.2. **Compuestos Antioxidantes del café**

Los metabolitos secundarios en las plantas son compuestos fenólicos. El grano de café está compuesto por carbohidratos, agua, compuestos nitrogenados, lípidos, ácidos y minerales. Esta planta tiene en especial un alto contenido de fenoles, objetivo de varias investigaciones. El café nacional cuenta

con una excelente capacidad antioxidante, en promedio 1.23 mg/mL como  $IC_{50}$ , tal como lo muestra la figura 3 (Cruz *et al.*, 2019).

Figura 3. **Actividad antioxidante de grano y hoja de café en Guatemala**



Nota: Entre menor el valor de  $IC_{50}$  mejor es la capacidad antioxidante, ya que se necesita menos cantidad de extracto para inhibir el 50% del radical DPPH. La mejor región es la I (San Marcos).

Fuente: Cruz *et al.* (2019) *Simposio Latinoamericano de caficultura*. Consultado: 26 de agosto del 2019. Recuperada de [https://promecafe.net/wp-content/uploads/2019/XXIV\\_Simposio\\_Multimedia/Panel\\_IV/6.Potencial\\_antioxidante\\_y\\_composicio%CC%81n\\_qui%CC%81mica\\_de\\_hojas\\_y\\_granos\\_\\_de\\_cafe%CC%81\\_proveniente\\_de\\_7\\_regiones\\_de\\_Guatemala\\_-\\_Sully\\_Cruz.pdf](https://promecafe.net/wp-content/uploads/2019/XXIV_Simposio_Multimedia/Panel_IV/6.Potencial_antioxidante_y_composicio%CC%81n_qui%CC%81mica_de_hojas_y_granos__de_cafe%CC%81_proveniente_de_7_regiones_de_Guatemala_-_Sully_Cruz.pdf).

Las investigaciones, en su mayoría, se han centrado en la concentración de polifenoles: ácido clorogénico, ácido cafeico, ferúlico, cumárico; un grupo variado y complejo de antioxidantes naturales. El ácido cafeico es uno de los más populares del grano de café; éste es uno de los principales responsables de la

actividad antioxidantes en plantas como orégano, carambola, guinda, y varios más (Alvarado, Castañeda, Muñoz, y Ramos, 2007). El uso de este compuesto es potencialmente en el área médica, por sus propiedades antiinflamatorias, antibacteriales, antioxidativas, entre otras (Aragón *et al.*, 2016).

El ácido clorogénico es el compuesto fenólico más abundante en el grano de café, da como resultado ácido cafeico al hidrolizarse (Cruz *et al*, 2018). La función de ácido clorogénico en la planta es regenerar los desgarros que pueden obtener las hojas; ambos fenoles tienen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes.

#### **1.6. Espectrofotometría para la determinación de compuestos fenólicos**

La espectrofotometría es una técnica instrumental para medir cuanta luz pasa a través de una solución y cuanta de esa luz es absorbida. Este método tiene distintas aplicaciones, normalmente se utiliza para determinar concentraciones de un compuesto en la solución, por medio de la absorción y transmitancia.

Cuando un haz de luz atraviesa una solución, cierta cantidad queda atrapada en ella, a esta propiedad se le llama absorbancia, una variable adimensional e intensiva. La absortividad es el índice de absorbancia específico para cada sistema soluto-solvente. Este índice depende de la concentración del sistema y de la longitud de onda, por lo que el cambio en una de estas variables se ve reflejado en el espectro del sistema.

El instrumento utilizado para la medición de absorbancia es el espectrofotómetro de UV visible, el cual se basa en la Ley de Beer-Lambert. En el dispositivo se hace incidir radiación electromagnética (zona ultravioleta y visible del espectro) sobre la muestra, de la cual solamente un porcentaje se transmite. Este método se basa en la ley de Beer-Lambert.

Lambert y Beer descubrieron que existe un vínculo entre el cambio de la intensidad de luz difundida a través de la muestra, la distancia recorrida por el haz de luz y la concentración de la sustancia. Estas relaciones se conocen como la Ley de Lambert-Beer y se expresa como:

$$I_t/I_0 = 10^{-\epsilon b C} \quad (1)$$

En dónde:

- $I_t$ : es intensidad de luz transmitida por la muestra [cd].
- $I_0$ : refiere a la intensidad de luz que incide sobre la muestra y que proviene de la fuente [cd].
- $\epsilon$ : representa el coeficiente de absortividad molar [ $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ].
- $b$ : es la longitud de la trayectoria del haz de luz a través de la muestra [cm].
- $C$ : refiere a la concentración de la muestra [M].

La razón  $I_t/I_0$  se conoce como transmitancia,  $T$ ; representa la cantidad de luz que atraviesa la muestra. Conociendo que la absorbancia es la razón entre la intensidad de luz inicial y la intensidad transmitida por la muestra ( $I_t$ ), se puede escribir la ley de Beer-Lambert de distintas formas, por transformaciones matemáticas de sustitución (ecuación 2).

$$I_t / I_0 = 10^{-\epsilon b C} \equiv -\log T = \epsilon b c \equiv A = \epsilon b C \quad (2)$$

En dónde:

- $I_t$ : es la intensidad de luz transmitida por la muestra [cd].
- $I_0$ : se refiere a la intensidad de luz que incide sobre la muestra y que proviene de la fuente [cd].
- $\epsilon$ : representa el coeficiente de absortividad molar [ $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ].
- $b$ : es la longitud de la trayectoria del haz de luz a través de la muestra [cm].
- $C$ : hace referencia a concentración de la muestra. [M].
- $A$ : representa la absorbancia.
- $T$ : es transmitancia.

Para la determinación de concentraciones por medio de esta técnica se utilizó curvas de calibración. La curva de calibración es una representación gráfica, en este caso representa la absorbancia en base a la concentración. Para la muestra desconocida, se debe interpolar, conociendo la absorción por medio del espectrofotómetro.

### 1.6.1. Métodos para evaluar la capacidad antioxidante

La metodología para evaluar capacidad antioxidante se clasifica por la partícula transferida. Cruz *et al.* (2018), menciona los siguientes ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno: ensayo de fotoquemoluminiscencia (PCL), ensayo de crocina (CBA), capacidad de absorbancia del radical oxígeno (ORAC), ensayo de la capacidad inhibitoria de LPO, secuestro de radical peróxido, parámetro antioxidante de secuestro de radicales libres (TRAP), método de la captura del radical ABTS, ensayo de

inhibición de oxígeno (IOC), actividad de captura de radical hidroxilo y ensayo de beta caroteno-ácido linoleico.

Existen más referencias a los métodos de transferencia de electrones, entre ellos esta: reducción de hierro (FRAP), capacidad equivalente por medio de Trolox (TEAC), reducción del ión cúprico (CUPRAC) y radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (Cruz *et al.*, 2018).

El método de FRAP, tiene como base la reducción del complejo de hierro con tripiridiltriazina (TPTZ), es decir de  $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ a  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ. Este método mide la disposición de la muestra de reducir el hierro de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ , medible por medio de la coloración desarrollada por el complejo  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ.

El método ABTS es comúnmente más utilizado para la cuantificación de la capacidad antioxidante. Este método consiste en la oxidación de un radical libre obtenido de una reacción enzimática o química. Por medio de este método es posible evaluar compuestos con estructuras lipofílicas e hidrofílicas, a contrario del método DPPH que solamente se disuelve en medio orgánico (Asuero, Fett Kuskoski, , Mancini y Troncoso 2005).

El método DPPH también es común al evaluar la capacidad antioxidante. Se utiliza el radical DPPH, de color violeta, el cual da de baja cuando reacciona con fenoles. La longitud de onda óptima para cuantificar la concentración del DPPH por medio de espectrofotometría es 517 nm (Cortes *et al.*, 2017). La concentración del DPPH, influye en los resultados de la reacción, por lo que se recomienda utilizar una concentración de 0.10 mM para evaluar capacidad antioxidante (Guija, *et al.*, 2015).

## **2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se llevó a cabo en tres fases: la primera, consistió en un estudio de las cafeterías más populares en la ciudad de Guatemala; en la segunda fase, se realizó la cuantificación del residuo en las cafeterías seleccionadas y por último la medición de la capacidad antioxidante en extractos de café pre y poslixiviados. A continuación, se describen a mayor detalle en qué consistió cada una de ellas.

### **2.1. Selección de cafeterías a estudiar**

Se realizó un estudio de sondeo con el objetivo de determinar la popularidad y consumo en cafeterías con productos de origen guatemalteco, presentado en apéndice 1 del presente documento, dónde participaron personas de distintos departamentos de Guatemala, por medio de una encuesta en línea.

El consumo de café en Guatemala es una práctica común, demostrada por todos los encuestados, quienes mostraron preferencias por ciertas cadenas de cafeterías, aún si estas no están presentes en su lugar de residencia. Los entrevistados fueron en su mayoría residentes de la ciudad de Guatemala, aunque también participaron todos los departamentos en un menor porcentaje.

La encuesta demostró la popularidad en seis cafeterías; de ellas se realizó la selección entre las cuatro empresas nacionales presentes en el área de estudio, con el fin de dar realce al origen de dichas empresas.

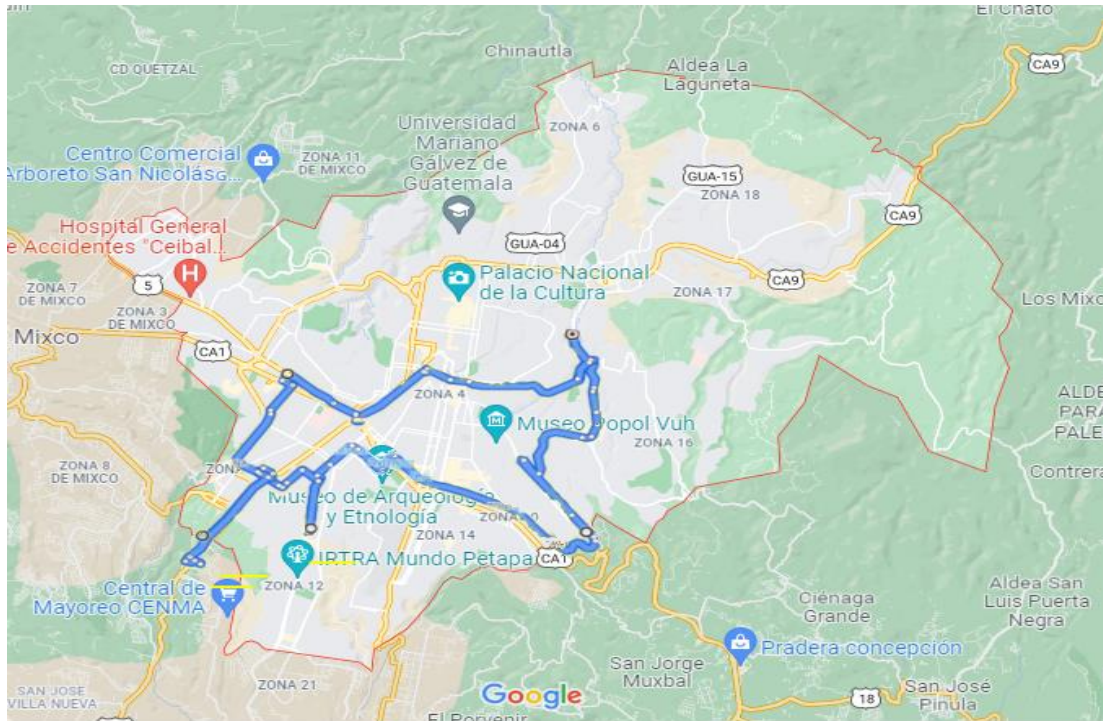
Los criterios seleccionados para determinar la cafetería a estudiar entre las cadenas de cafeterías de origen guatemalteco con alta popularidad, son los siguientes, nombrados en base a su importancia: cantidad de franquicias en la ciudad de Guatemala, calidad de café y precio.

La importancia de criterios se analizó de la siguiente forma: la cantidad de franquicias, la cual denota una fuerte demanda de la cafetería en el área de estudio, esperando una fuerte cantidad de residuo generado; calidad de café, dependiente de su capacidad antioxidante residual y por último el precio, el cual tiene una relación directa con la calidad y demanda de la bebida, dando soporte a los criterios previos.

La cafetería seleccionada, de la cual no se especificará el nombre, tiene distintas franquicias en la ciudad, de estas se seleccionaron 5. La selección de sedes a estudiar se realizó en base a diferentes aspectos valorizados de 1 a 5, en la siguiente jerarquía: localización, instalaciones, servicio al cliente.

En base a la localización se cubrió gran parte del área de estudio, ya que se eligieron cafeterías en las principales vías, abarcando salidas y entradas de la ciudad de Guatemala. En instalaciones se tomó en cuenta principalmente el paso vehicular, seguido del área de mesas según la zona comercial, evitando las sedes dentro de centros comerciales por la poca afluencia de lunes a jueves. A pesar de las políticas internas generales para el servicio al cliente, este aspecto se evaluó como un plus en las franquicias a evaluar.

Figura 4. Localización de cafeterías seleccionadas en circuito cerrado



Nota: se muestra un circuito de las cafeterías analizadas, encontradas en puntos clave de entrada y salida a la ciudad de Guatemala.

Fuente: elaboración propia, realizado con Google Maps.

Las franquicias seleccionadas se encuentran en las siguientes zonas y calzadas: calzada San Juan, calzada Aguilar Batres, avenida Petapa, calzada La Paz y Vista Hermosa II; abarcando la mayor cantidad posible de consumo en la cadena de cafeterías seleccionada.

## 2.2. Valoración másica de café consumido en cafeterías seleccionadas

Se realizó el muestreo de residuo de café molido en la cadena seleccionada, representada por 5 de sus franquicias. Se tuvo como limitante el permiso de algunas sedes ya que inicialmente se planteó realizar el muestreo por un mes. Se muestreo por quince días establecidos acorde al permiso de las sedes seleccionadas.

Figura 5. Recipientes para recolección de café



Nota: el muestreo de café consistió en el pesaje diario de todo el residuo generado por las cinco cafeterías con el fin de establecer un modelo de comportamiento y proyectar el residuo mensual por cada una. Este dato fortalece la importancia de la gestión integral del residuo poslixiviado del café.

Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021).  
Colección particular. Guatemala.

Las cafeterías cuentan con distintos horarios laborales; dependiendo de su localización; la mayoría inicia labores a las 6:00 a. m., a excepción de la cafetería

en la avenida Petapa; por otro lado, el horario de cierre difiere como a continuación se describe: 7:00 p. m. en la calzada La Paz, 8:00 p. m. la ubicada en la Aguilar Batres y avenida Petapa, las dos restantes cierran a las 9:00 p. m. Este rango de horarios da lugar para el diseño de una ruta de muestreo, dividiendo en dos grupos las cafeterías estudiadas.

El muestreo se llevó a cabo en forma continua de la siguiente forma: tres cafeterías en las últimas semanas de julio y luego las dos restantes en la primera quincena de agosto. La primera ruta se realizó en el siguiente orden: calzada Aguilar Batres, avenida Petapa y calzada San Juan. La segunda ruta consistió en ir a la calzada La Paz y luego a Vista Hermosa II.

En ambas rutas el residuo se guardaba de noche y se pesaba por la mañana; preservar el residuo durante la noche no afectó el peso ya que el residuo se colocaba en recipientes y bolsas selladas para evitar la humidificación o pérdida en esta variable.

El residuo de café reunido se utilizó en su totalidad durante toda la investigación. Solamente una pequeña fracción fue utilizada para obtener el extracto necesario en la tercera etapa de investigación, el restante se trató como residuo; sin embargo, su destino final no fue el botadero.

El residuo de café, sobrante del muestreo, se utilizó para la elaboración de compost casero, extendiendo su ciclo de vida. Al finalizar la investigación quedó implementado el sistema de compostaje, creando una cultura circular en el hogar.

## **2.3. Determinación de capacidad antioxidante**

La determinación de capacidad antioxidante se dividió en tres fases: muestreo, extracción y evaluación por DPPH. Se realizó tanto para el café previo a la preparación de la bebida como para el residuo poslixiviado.

La primera fase, consistió en muestrear homogénea y aleatoriamente el café de las cinco franquicias colaboradoras de tal forma que no hubiera factores discriminantes en la muestra, tales como preferencia de alguna sede por volumen o algún tratamiento diferente al café.

La segunda fase, necesitó un análisis de mejor solvente, para cada una de las muestras trabajadas, las cuales dieron una mayor solubilidad al mismo porcentaje con el solvente seleccionado. Por último, la capacidad antioxidante se trabajó con el mismo método para ambos extractos.

### **2.3.1. Muestreo de café consumido en cafeterías seleccionadas**

El muestreo consistió en seleccionar una fracción del residuo generado para la obtención del extracto. Se alcanzó aleatoriedad sin preferencias por procedencia, por aspecto y cualquier otra variable discriminativa, seleccionando una cantidad fija por medio de la técnica de cuarteo aplicado a cada franquicia diariamente.

Inicialmente se pretendía unir el residuo diario de las cinco cafeterías y seleccionar por cuarteo el 10 % del total de la muestra, pero las franquicias

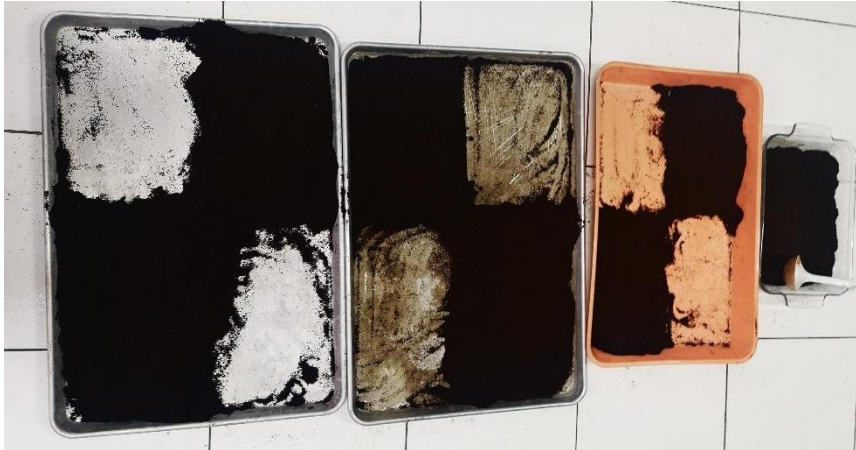
participantes en la investigación variaron la cantidad de residuo generado; por lo que el método caía en una inclinación a favor por la cafetería con más residuos.

Finalmente, se seleccionaron 10.00 gramos diarios de cada una de las cafeterías, por cuarteo. Estos formaron parte de una muestra general con amplitud muestral de más del 50 %. Se utilizaron 200.00 gramos en la segunda fase, la obtención del extracto.

#### **2.3.1.1. Técnica de cuarteo**

La técnica de cuarteo consistió en extender sobre una bandeja el residuo colectado en las cafeterías. Luego de la colocación de la muestra homogéneamente en toda el área se dividió la bandeja en cuatro partes iguales. De estas se extrajo dos partes en diagonal y se colocaron en una segunda bandeja. En esta bandeja se realizó el mismo procedimiento escogiendo las partes contrarias a las que se eligieron en la primera bandeja (figura 6). Este procedimiento se repitió hasta obtener 10.00 gramos de la muestra.

Figura 6. **Técnica de cuarteo aplicada en borra de café**



Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

La técnica de cuarteo se aplicó todos los días, a cada una de las muestras recolectadas por cada cafetería, es decir, se realizaba cinco veces diarias hasta obtener los 10.00 gramos por cafetería; esto dio como resultado una muestra completamente aleatoria y homogénea.

### **2.3.2. Secado**

El café poslixiviado contaba con una humedad por arriba del 50 % por lo que necesitó un proceso de secado a baja temperatura, y así conservar los compuestos antioxidantes volátiles. La baja temperatura incrementó el tiempo de secado para llevar la muestra a una humedad menor del 10 %. La humedad se obtuvo por medio de la ecuación 3.

$$\%H = (P_o - P_f) / P_m \quad (3)$$

En dónde:

- $\%H$ : se refiere al porcentaje de Humedad.
- $P_f$ : es el Peso final con muestra seca [g].
- $P_o$ : hace referencia al peso inicial con muestra húmeda [g].
- $P_m$ : es el peso solamente de la muestra inicial, húmeda[g].

La temperatura de secado tuvo un límite de 40.00 °C en un rango de tiempo de 36 a 48 horas. Este proceso se realizó diariamente controlando la humedad a cada 12 o 24 horas. La muestra se guardó en un desecador para evitar el aumento de humedad con el paso de los días, separada estratégicamente en varios recipientes.

La silicagel del desecador fue un factor determinante en la conservación de la muestra. Esta se cambiaba cada dos días para mantener las condiciones óptimas con baja la humedad; aun así, en algunos recipientes no se pudo evitar el incremento de micotoxinas, por lo que se tuvieron que desechar. Esta situación se aminoró con la holgura obtenida por el cuarteo. Así se logró conservar la calidad de la muestra, libre de hongos.

Antes de empezar con la extracción se reunió toda la muestra, en un recipiente sellado por 12 horas y luego se obtuvo una humedad general, la cual cumplía con el límite establecido. Este factor ayudó en el tiempo de extracción ya que el solvente tiene mayor volatilidad que el agua, mientras menos sea el residuo de este menor tiempo se necesitará para la extracción.

### 2.3.3. Tamizaje de muestra

Se realizó un estudio granulométrico al café por medio de tamices desde una apertura de 0.75 mm hasta 7.00  $\mu\text{m}$ , tamiz 24 y 200 respectivamente. Entre más fino el tamaño de partícula se disuelve con más facilidad.

Para el proceso de tamizado se colocaron 50.00 gramos de muestra en un tamiz con apertura de 0.75 mm, el número de tamices utilizados fueron 24, 35, 38, 40, 50, 60, 70, 100, 120, 140 y 200. Por diferencia de peso se determinó el porcentaje retenido en cada uno de los tamices, siguiendo la ecuación núm.4. Para la realización de la curva granulométrica se obtuvo el peso inicial de los tamices antes de colocar la muestra se realizó el tamizado de cada uno por separado y no como un sistema de tamices.

$$\%R = (M_f - T_o)/m_o \quad (4)$$

En dónde:

- $\%R$ : es el porcentaje de sólidos retenidos en el tamiz.
- $T_o$ : representa la tara inicial de tamiz [g].
- $M_f$ : hace referencia al peso final de tamiz con muestra retenida [g].
- $m_o$ : es el peso de la muestra inicial, colocada en el primer tamiz [g].

El tamizado por sistema consiste en colocar un tamiz arriba de otro y por movimiento la muestra pasa de un tamiz a otro hacia abajo reteniendo los granos por tamaño. El tamizaje realizado fue uno por uno, pasando así el residuo de uno al siguiente tamiz, el resultado no se ve afectado ya que se realizaron

movimientos generales con tiempo suficiente para que la muestra fluyera, en todos los tamices.

#### **2.3.4. Determinación de mejor solvente**

Puertas *et al.* (2013) presenta etanol:agua 1:1 como el mejor solvente para la medición de capacidad antioxidante de la borra café; la diferencia de procedencia de la borra utilizada en su investigación, llevó a una evaluación del mejor solvente en el café guatemalteco analizado tanto para el poslixiviado como para el prelixiviado, se basó en una prueba a pequeña escala.

La prueba de mejor solvente consiste en determinar la cantidad de sólidos disueltos con diferentes tipos de solventes y para ello se realiza un sistema a menor escala en el que se disuelve un gramo de muestra en diferentes solventes por 24 horas. Para la prueba se utilizó etanol al 30 %, 50 %, 70 % y 90 % a partir de alcohol al 95 %, porcentajes en volumen en agua desmineralizada.

Figura 7. **Sistema de lixiviado para método de mejor solvente**



Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

Se colocaron recipientes de boquilla regulable, con algodón y papel filtro dentro; luego se agregó el gramo de muestra; el solvente se vertió en el recipiente hasta cubrirlo y se dejó reposar por 24 horas, como lo muestra la figura 7. Pasado el tiempo se recibió la tintura un *beacker*, para determinar los sólidos disueltos en cada uno. La figura 8, muestra la diferencia de colores en cada una de las tinturas.

Figura 8. **Tintura obtenida según los diferentes solventes**



Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

La determinación de sólidos en la tintura se realizó en crisoles deshumidificados en el horno por dos horas; por cada solvente, se colocó un gramo de tintura en él. Adicionalmente, este se evaporó en una plancha de calentamiento dentro de la campana de extracción, hasta eliminar la tintura sin quemarla. Finalmente, se colocaron los crisoles en el horno por una hora a 110.00 °C, con el fin de deshumidificar nuevamente.

Figura 9. **Sólidos disueltos según los diferentes solventes**



Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

La figura 9 muestra en cada uno de los crisoles los sólidos disueltos en los diferentes solventes. Estos se pesaron y por medio de la ecuación 5 se determinaron los sólidos disueltos en cada uno de ellos. Para la elección del solvente también se tomó en cuenta que proporción convenía en el rotavapor, ya que la presión de vapor para un extracto es de suma importancia.

$$\%ST = (M_f - T_o) / m_t \quad (5)$$

En dónde:

- $\%ST$ : representa el porcentaje de los sólidos totales disueltos.
- $T_o$ : hace la referencia a la tara inicial de capsula [g].

- $m_f$ : es el peso final de capsula con muestra retenida [g].
- $m_t$ : representa el peso de tintura colocada en la cápsula [g].

### 2.3.5. Extracto de café

Se realizó la percolación del solvente con la muestra, obteniendo como resultado la tintura. Esta se colocó en un rotavapor prosiguiendo con la extracción de los sólidos disueltos. Este proceso se realizó durante 4 a 5 horas por 21 días. Finalmente se retira el extracto de las paredes del balón.

La disolución se realizó mediante embudos de acero inoxidable como se muestra en la figura 10. Se colocó algodón para evitar el paso de sólidos al fondo del embudo. Luego, se ingresaron 200.00 g de muestra en papel filtro. Se cubrió la muestra con 300.00 mL aproximadamente de etanol al 70 %. El sistema de disolución que incluye los elementos antes mencionados, quedó en solución por tres días, tiempo suficiente para disolver la mayor cantidad de sólidos de la muestra. La tintura se coloca inmediatamente en el sistema rotavapor. Este proceso se repitió dos veces más, reposando la disolución 24 horas antes de colocar la tintura en el rotavapor.

Figura 10. **Percolación de café pre y poslixiviado**



Nota: procedimiento a mayor escala del lixiviado realizado en el proceso de mejor solvente. Se observa en la parte inferior izquierda el algodón colocado para evitar arrastre de partículas granulométricas de mayor tamaño, que obstruyen el proceso de extracción. En la parte inferior derecha se observa el grano de café (muestra de extracto). En la parte superior se muestra dos embudos de extracción del café virgen y la borra.

Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

Figura 11. Sistema de rotavapor



Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

El sistema de rotavapor cuenta con: una bomba la cual genera vacío, un tubo condensador; un baño maría, y dos balones redondos: uno para la muestra y otro que recoge el solvente recuperado. El equipo se muestra en la figura 11. El balón que contiene la muestra rota a 115.00 rpm, en baño María a una temperatura de 40.00 °C con una presión negativa que varía dependiendo de la naturaleza del solvente.

La presión de vapor del solvente depende de las proporciones de etanol y agua. La presión de vacío en el rotavapor no fue constante. El etanol se evaporó primero dejando únicamente agua. Este fenómeno requirió una disminución de presión para extraer el agua final, dejando el extracto como se muestra en la figura 12.

Figura 12. **Extracto al salir del sistema rotavapor**



Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

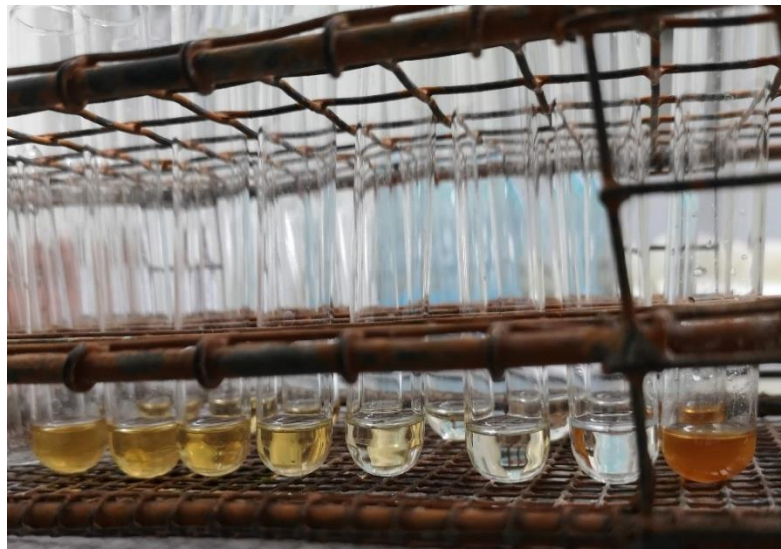
El extracto se trasvasa en un recipiente para reposar en desecadora por dos días, este proceso garantiza un extracto libre de solvente con la menor humedad posible. Tiene una textura viscosa al salir del rotavapor, aumentando esta propiedad con el paso del tiempo. Se debe guardar en temperaturas bajas, en dispositivos refrigerantes para una mejor conservación.

Ambos extractos tuvieron un color café oscuro, similar a negro. La pequeña diferencia de color se puede interpretar como un indicio de similitud entre propiedades. Ambos extractos tuvieron alta viscosidad y remanente acuoso. El extracto se colocó en un recipiente tapado con respiraderos en la desecadora en un periodo 3 a 4 días, proceso que eliminó todo rastro de agua. Finalmente se colocó en un recipiente de vidrio ámbar y se resguardó en un ambiente frío para mayor conservación.

### 2.3.6. Capacidad antioxidante por método del DPPH

El radical DPPH tiene la característica de formar una asíntota al reaccionar con el extracto, nunca llega a un punto final, por lo que se realiza una correlación lineal de la actividad antioxidante reportando el punto medio de la reacción. El rango de concentraciones óptima para la evaluación de la actividad antioxidante del extracto es menor de 1.00 mg/mL.

Figura 13. Diluciones de extracto con metanol



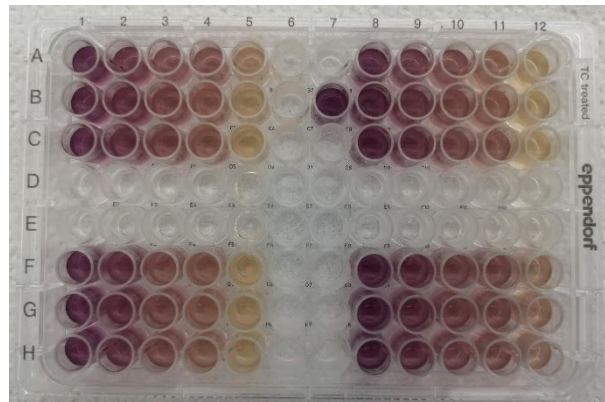
Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

La solución madre fue de 20.00 mg/mL, a partir de ella se realizaron múltiples evaluaciones hasta encontrar el rango de concentraciones óptimas. Se tomaron números naturales como base para las diluciones. Los factores de dilución fueron de 0.50 a 0.25, con metanol, en un volumen total de 1mL, diluciones mostradas en la figura 13, partiendo de la solución madre posicionada

a la derecha de la imagen. A partir de las últimas diluciones se realizaron cinco repeticiones por punto, dando como resultado 5 curvas de calibración con cinco puntos, evaluados tres veces.

Cada punto se evaluó cinco veces, dejando actuar 20.00  $\mu\text{L}$  de muestra con 200.00  $\mu\text{L}$  de DPPH, tal como lo muestra la figura 14. Las diluciones previamente preparadas, se dejaron reaccionar por 30 min sin iluminación, como lo muestra la figura 15.

Figura 14. **Placa de reacción con DPPH y metanol como blanco**



Nota: el DPPH es de color morado, cuando el radical es inhibido se torna de color amarillo. Al leer una curva se busca obtener concentraciones en los que se tenga diferentes porcentajes de reacción, denotados por el cambio de color.

Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

Figura 15. **Reacción con radical DPPH sin iluminación**



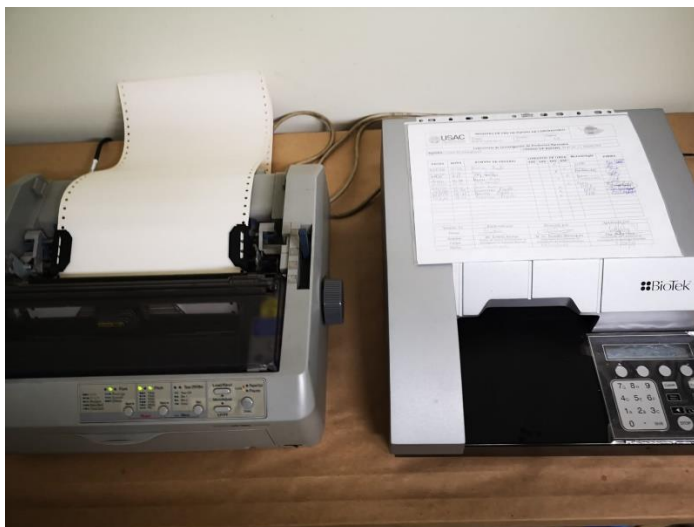
Nota: el radical libre DPPH es sensible a la luz, por lo que se debe dejar en oscuridad para una reacción confiable. El papel aluminio realiza la función de una cámara oscura.

Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

El equipo utilizado para la medición de absorbancia fue un lector de microplacas automatizada para absorbancia, BioTek ELX800, presentado en la figura 16. El equipo solamente lee en cuatro distintas longitudes de onda, por lo que el procedimiento presentado es el adaptado para trabajar a 490 nm, la más cercana a la longitud de onda óptima.

El método consistió en encontrar un comportamiento lineal de inhibición a concentraciones adecuadas, con una regresión por arriba de 0.98. El valor de absorbancia se graficó versus la concentración. Finalmente se procedió a obtener el punto medio,  $CI_{50}$ , valor reportado.

Figura 16. **Lector de microplacas para absorbancia BioTek ELX800**



Nota: el equipo utilizado contó con impresora y un lector de absorbancias por grupo, con el cual se descartó la variable del tiempo como perjudicial para la medición de la reacción antioxidante.

Fuente: [Fotografía de Paula María Vásquez Cifuentes]. (Guatemala, Guatemala. 2021)  
Colección particular. Guatemala.

## **2.4. Análisis Estadístico de datos obtenidos**

Los datos de interés son cuantificables numéricamente, por lo que se realizaron métodos cuantitativos para su representación y estudio. Los datos obtenidos en la recolección de café se analizaron por diferentes métodos estadísticos. El principal fue ANDEVA en el análisis másico. La comparación de medias para datos pareados se utilizó para la comparación de capacidad antioxidante.

### 2.4.1. Comparación de medias para datos pareados

La comparación de medias para datos pareados se realiza en muestra que sufren un cambio o un tratamiento, por lo que se desea determinar si hay diferencia antes y después del mismo. Las cafeterías analizadas tienen un estándar de calidad con lo que el café no varía de características, situación que permite trabajar bajo el supuesto que se analiza la misma muestra en un antes y después.

El análisis de datos pareados conlleva la evaluación de la desviación estándar de las diferencias por medio de la ecuación 6 y la media de las diferencias según ecuación 7, para finalmente poder utilizar la prueba t para datos pareados presentada en la ecuación 8.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - (\sum d_i)^2/n}{n-1}} \quad (5)$$

En dónde:

- $S_d$ : representa la desviación estándar de las diferencias.
- $n$ : es el número de pares observados.
- $d_i$ : hace referencia a la diferencia entre tratamientos de la muestra.

$$\bar{d} = \sum \frac{d_i}{n} \quad (6)$$

En dónde:

- $\bar{d}$ : es la media de las diferencias.
- $n$ : número de pares observados.
- $d_i$ : diferencia entre tratamiento de la muestra.

$$t = \frac{\bar{d} - d_o}{S_d / \sqrt{n}} \quad (7)$$

En dónde:

- $\bar{d}$ : es la media de las diferencias.
- $d_o$ : hace referencia a la media poblacional de las diferencias pareadas.
- $S_d$ : es la desviación estándar de las diferencias.
- $n$ : se refiere al número de pares observados.

En la medición de capacidad antioxidante solamente se realizó una vez con cinco repeticiones, por lo que se obtuvo un promedio con su varianza respectiva. Estos datos fueron utilizados de la ecuación 6 a la ecuación 8. En la ecuación 9 se muestra cómo se realizó el porcentaje por diferencia con el que también se compararon las muestras.

$$\% \Delta CA = (CA_v - CA_l) / CA_v \quad (8)$$

En dónde:

- $CA_v$ : es la capacidad antioxidante del café virgen pre lixiviado [mg/mL].
- $CA_l$ : se refiere a la capacidad antioxidante del café poslixiviado [mg/mL].
- $\% \Delta CA$ : hace referencia a la capacidad antioxidante perdido en lixiviación.

### **2.4.2. ANOVA**

El análisis estadístico de varianza, también llamado ANOVA por sus siglas en inglés se utiliza para determinar cambios entre grupos de muestras en las que una variable cambia. En la presente investigación se utilizó para analizar el consumo de café por medio de su residuo en las distintas cafeterías seleccionadas. El método se realizó por medio de comandos en los programas informáticos, Excel y Minitab. Por lo que no son relevante las ecuaciones utilizadas para llegar a los resultados.

La cantidad de residuo generado depende de dos variables de producción: día de la semana y zona de la franquicia. Se realizó una comparación entre las franquicias y su zona del promedio generado diario con un análisis de varianza de un solo factor (ANOVA). Por medio del mismo método, se realizó una comparación entre días de la semana, tomando como variable fija la franquicia.



### **3. REPRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

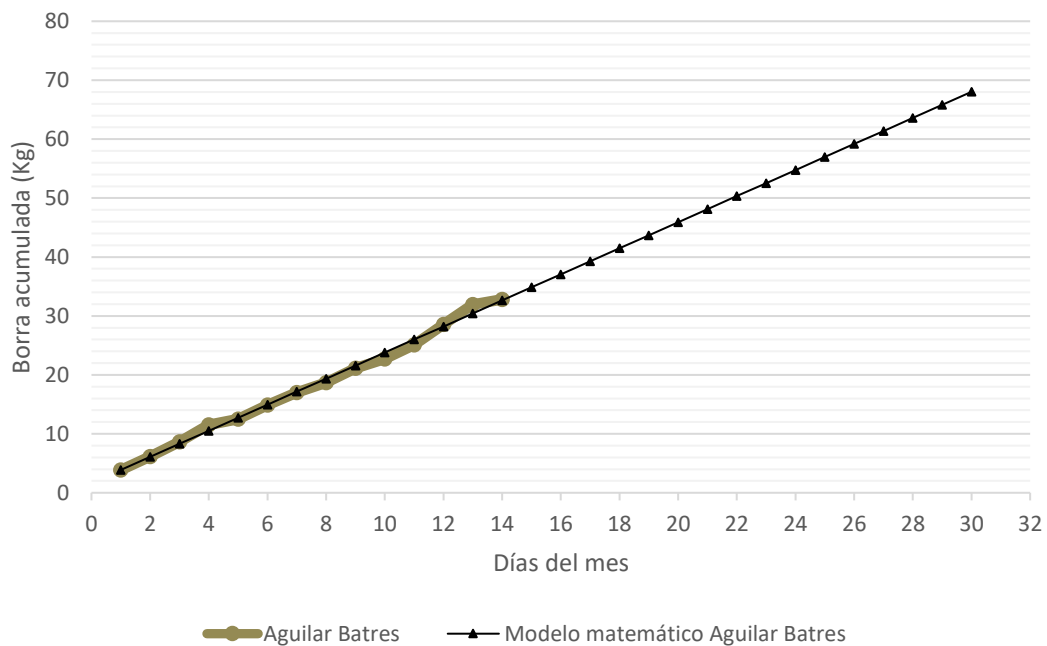
#### **3.1. Cuantificación de borra generada mensual**

El análisis de la generación de borra en las distintas sedes se realizó por medio de modelos matemáticos. El estudio estadístico consistió en un análisis de varianza unifactorial para la comparación de generación entre sedes, y multifactorial para su comparación entre días.

##### **3.1.1. Generación mensual**

El modelo predictivo de generación mensual se realizó por medio del peso acumulado con el objetivo de crear un modelo lineal, estos están establecidos de la tabla I a la tabla V y de la figura 17 a la figura 21. Se presentan graficados los datos obtenidos junto al modelo predictivo. Todos los modelos tienen un coeficiente de determinación arriba de 0.98, asegurando un dato confiable de la generación mensual.

Figura 17. **Modelo matemático de borra generada en sede Aguilar Batres**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En la figura 17, la línea punteada denota la proyección de la generación de borra acumulada durante el paso de los días del mes, en la sede Aguilar Batres. El modelo es lineal a la vista. Modelo generado por medio del programa Excel 2019.

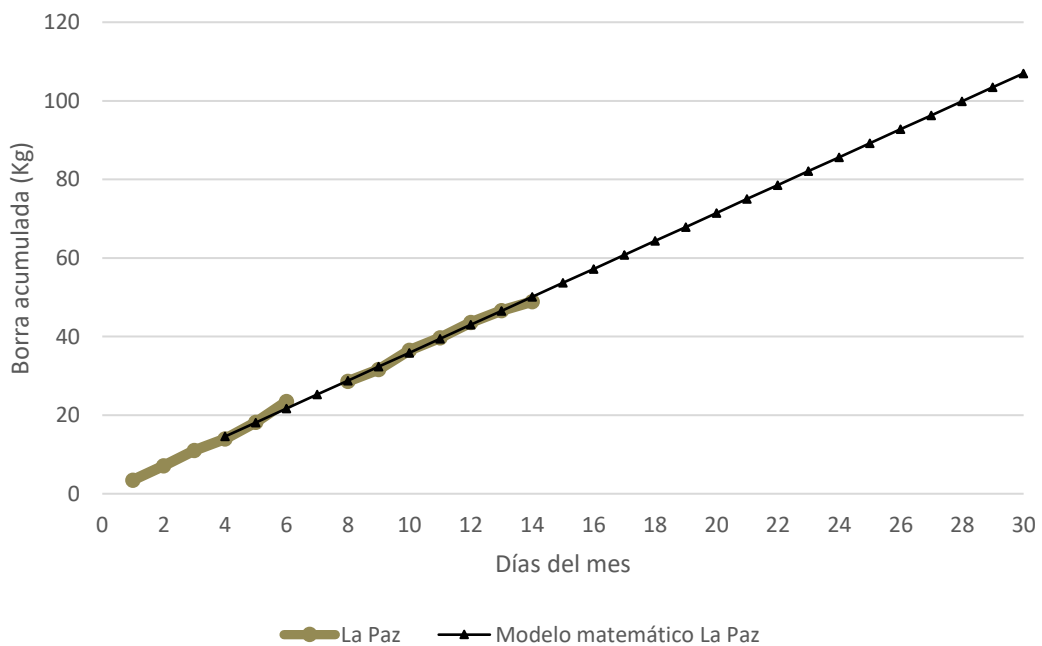
Tabla I. **Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede Aguilar Batres**

Ecuación del modelo matemático	$r^2$	Generación mensual de borra (Kg)
$Borra [Kg] = 2.21(d) + 1.66$	0.99	68.02

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La tabla I presenta la ecuación del modelo matemático de la figura 17, con el que se demuestra la linealidad del mismo; también se indica el total de generación mensual según el modelo. Es importante destacar la pendiente del modelo, que representa la generación diaria en promedio.

Figura 18. **Modelo matemático de borra generada en sede La Paz**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La línea punteada de la figura 18 es la proyección de la generación de borra acumulada durante el paso de los días del mes, en la sede La Paz; es un modelo lineal generado por medio del programa Excel 2019.

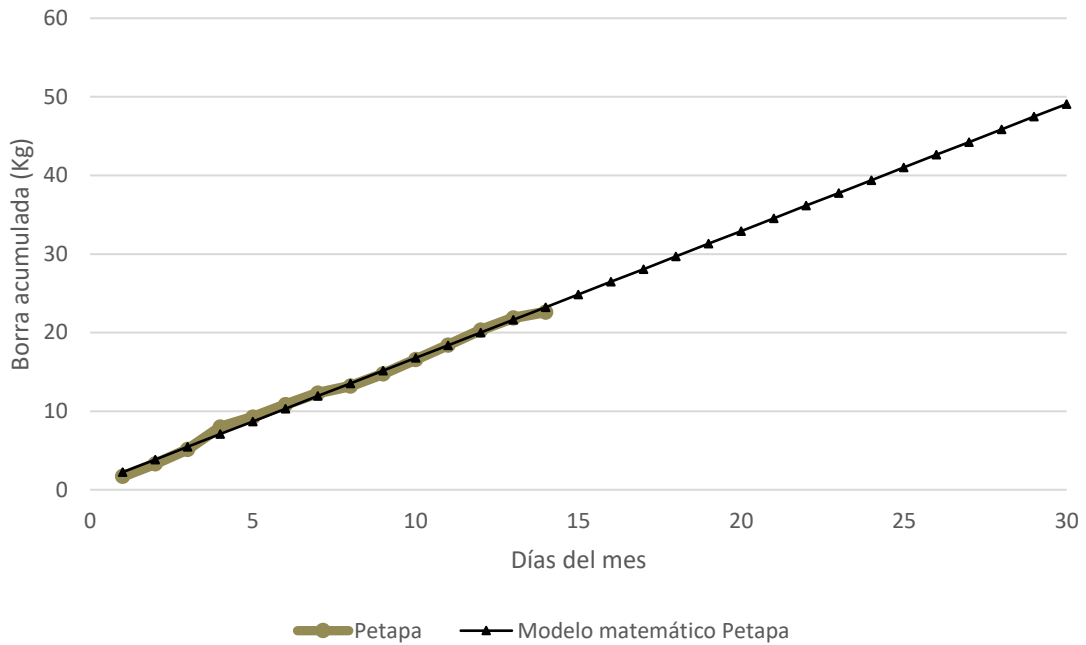
Tabla II. **Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede La Paz**

Ecuación del modelo matemático	$r^2$	Generación mensual de borra (Kg)
$Borra [Kg] = 3.45(d) + 0.37$	0.99	106.99

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla II se presenta la ecuación del modelo matemático de la figura 18, generado por medio del programa Excel 2019, en él se demuestra la linealidad del mismo, así como el total de generación mensual; su pendiente representa la generación diaria en promedio.

Figura 19. **Modelo matemático de borra generada en sede Petapa**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La línea punteada de la figura 19 se encuentra la proyección de la generación de borra acumulada durante el paso de los días del mes, en la sede Petapa; modelo generado por medio del programa Excel 2019.

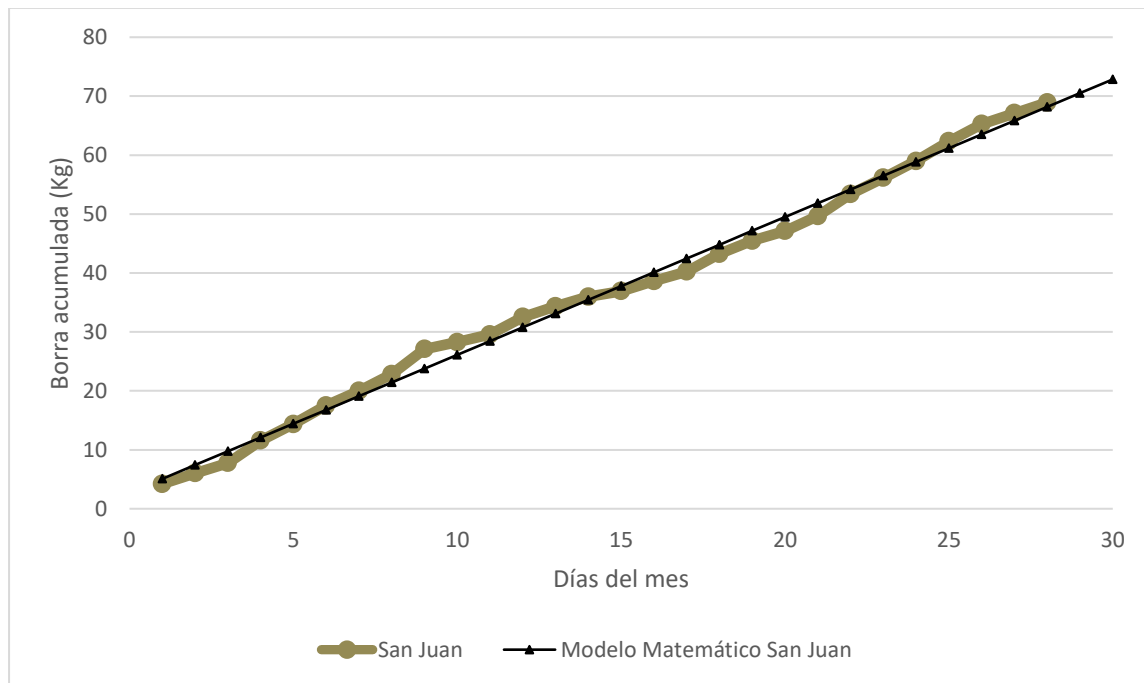
Tabla III. **Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede Petapa**

Ecuación del modelo matemático	r <sup>2</sup>	Generación mensual de borra (Kg)
$Borra [Kg] = 1.61(d) + 0.62$	0.99	49.08

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Por medio de la tabla III se presenta la ecuación del modelo matemático de la figura 19, generado por medio del programa Excel 2019, con el que se demuestra la linealidad del mismo; así como el total de generación mensual. Es importante destacar la pendiente, que representa la generación diaria en promedio.

Figura 20. **Modelo matemático de borra generada en sede San Juan**



Fuente: Elaboración propia, realizado con Excel.

En línea punteada de la figura 20 se encuentra la proyección de la generación de borra acumulada durante el paso de los días del mes, en la sede San Juan, la sede con más datos colectados. El modelo es lineal a la vista. Modelo generado por medio del programa Excel 2019

Tabla IV. **Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede San Juan**

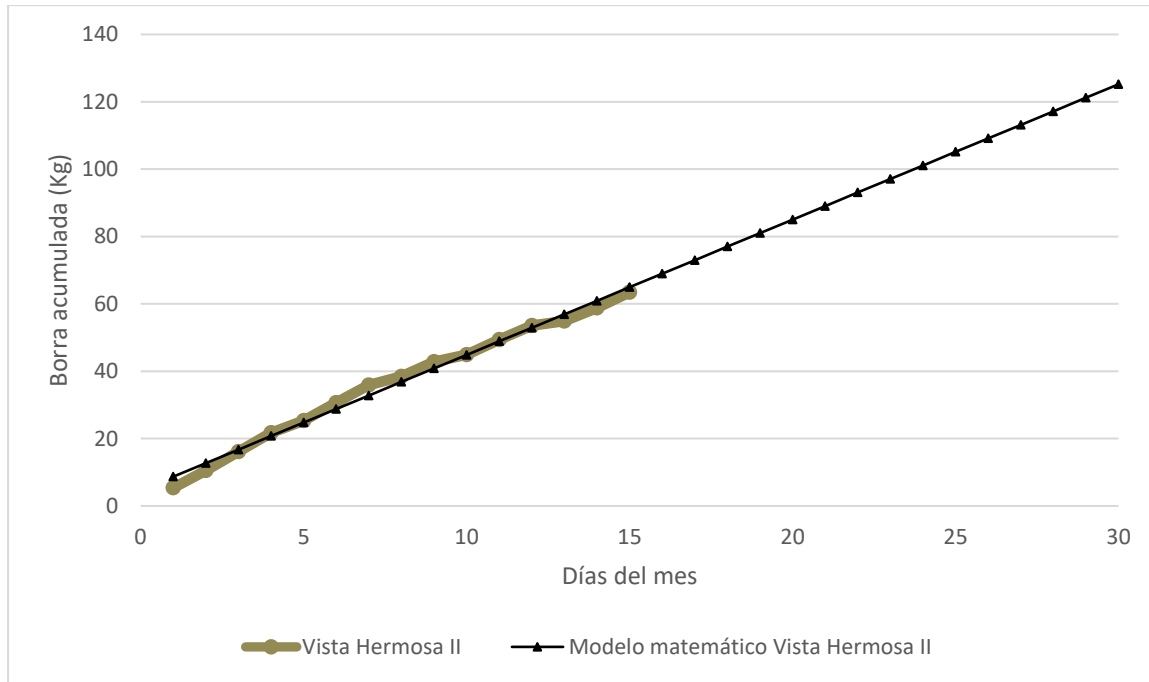
Ecuación del modelo matemático	$r^2$	Generación mensual de borra (Kg)
$Borra [Kg] = 2.34(d) + 2.73$	0.99	72.84

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla IV se presenta la ecuación del modelo matemático de la figura 20, con el que se demuestra la linealidad del mismo. Y el total de generación mensual según el modelo. Es importante destacar la pendiente, que representa la generación diaria en promedio. Modelo generado por medio del programa Excel 2019.

En la sede San Juan, se obtuvieron resultados de 28 días de los cuales se obtiene el modelo de la Tabla IV; en él se puede observar la calidad del modelo, su cercanía con los datos reales y por lo tanto su confiabilidad en predicciones.

Figura 21. **Modelo matemático de borra generada en sede Vista Hermosa II**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En línea punteada de la figura 21 se encuentra la proyección de la generación de borra acumulada durante el paso de los días del mes, en la sede Vista Hermosa II. El modelo es lineal a la vista, generado por medio del programa Excel 2019.

Tabla V. **Peso acumulado mensual de borra de café recolectado en sede Vista Hermosa II**

Ecuación del modelo matemático	$r^2$	Generación mensual de borra (Kg)
$Borra [Kg] = 4.02(d) + 4.69$	0.98	125.19

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Se presenta la ecuación del modelo matemático de la figura 21 en la tabla V, con el que se demuestra la linealidad; modelo generado por medio del programa Excel 2019. También se observa el total de generación mensual según el modelo. Es importante destacar la pendiente, que representa la generación diaria en promedio.

Las sedes Aguilar Batres, Petapa y Vista Hermosa II muestran un comportamiento continuo según los datos recolectados, con pequeños desfases en algunos días. Los modelos se adaptan a los datos obtenidos.

Tabla VI. **Generación mensual según sedes y su promedio quincenal y mensual**

<b>SEDE</b>	<i>Aguilar Batres</i>	<i>La Paz</i>	<i>Petapa</i>	<i>San Juan</i>	<i>Vista Hermosa II</i>
<b>Consumo mensual (Kg)</b>	68.02	106.74	49.08	72.84	125.19
<b>Promedio diario Mensual (Kg)</b>	2.26	3.56	1.63	2.42	4.17
<b>Promedio diario Quincenal (Kg)</b>	2.34	3.62	1.61	2.46	4.22

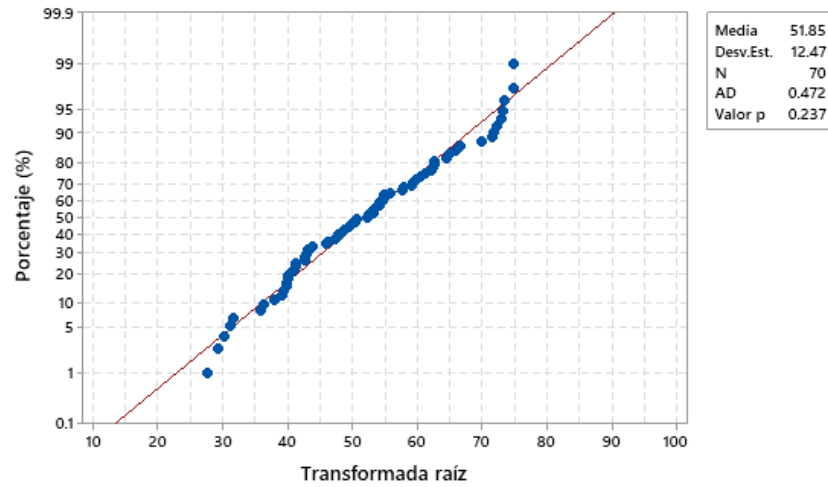
Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

En la tabla VI se observa el consumo mensual, el promedio según el modelo matemático y el promedio de los datos obtenidos, como promedio quincenal. Estos datos se presentan resumidos según las sedes.

### **3.1.2. Análisis de varianza para borra generada**

Las pruebas de normalidad se trabajaron con valores bajo la transformación logarítmica. Esta se muestra en la figura 22. En la figura 23, se muestra la igualdad de varianza de los valores transformados.

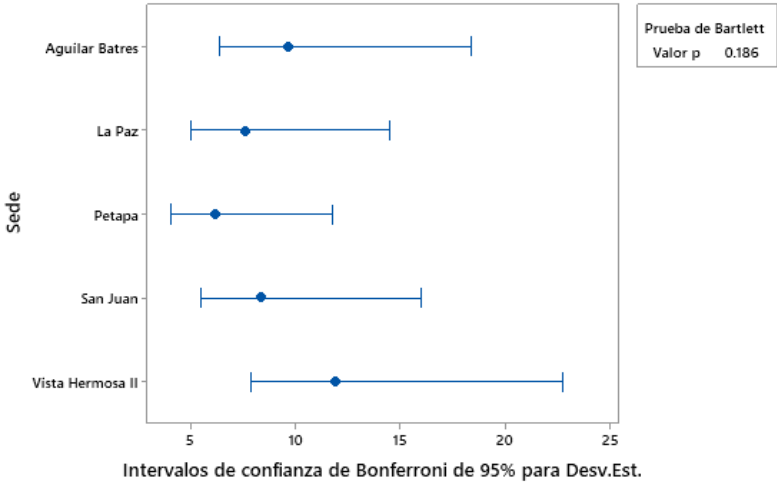
Figura 22. **Prueba de normalidad de Anderson-Darling para borra de café bajo transformación logarítmica**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

Se presenta la prueba de normalidad de Anderson-Darling en la figura 22, realizada por medio del programa estadístico Minitab versión 19.1, donde es normal si el valor Anderson-Darling (AD) es menor al nivel de confianza trabajado. La secuencia de los datos alrededor de la diagonal, es un indicio visual de la normalidad.

Figura 23. **Prueba de igualdad de varianza para borra de café, con datos transformados logarítmica**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

En la figura 23, se presenta la homocedasticidad de los datos por medio de la prueba de Bartlett. Visualmente todos los intervalos de confianza deben coincidir en algún punto para decir que se cuenta con igualdad de varianza. Numéricamente, el valor p de Bartlett debe ser mayor al nivel de significancia trabajado. Prueba realizada por medio del programa estadístico Minitab versión 19.1.

Se realizó un análisis de varianza para generalizar la producción del residuo en las cafeterías seleccionadas, deducción que no es viable estadísticamente ya que se rechaza la hipótesis nula, como se demuestra en la tabla VII.

Tabla VII. **ANOVA para producción de borra en cafeterías analizadas**

<i>Origen de las variaciones</i>	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<i>Entre grupos</i>	1.57	4.00	0.39	15.31	7.10E-09	2.51
<i>Dentro de los grupos</i>	1.67	65.00	0.02			
<i>Total</i>	3.24	69.00				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La prueba de ANOVA utiliza la F de Fisher para evaluar si existen diferencias significativas entre grupos. Según la prueba en la tabla VII, el valor crítico es menor a F, por lo que se rechaza la hipótesis nula que dice: todas las medias de la población son iguales; prueba realizada por medio del programa Excel 2019.

Como seguimiento de la prueba ANOVA, la prueba de Tukey en la que se encontraron las agrupaciones de medias para la producción entre sedes se muestra en la tabla VIII Agrupación de sedes utilizando el método de Tukey con una confianza del 95 %.

Tabla VIII. **Agrupación de medias para la producción de borra por el método de Tukey**

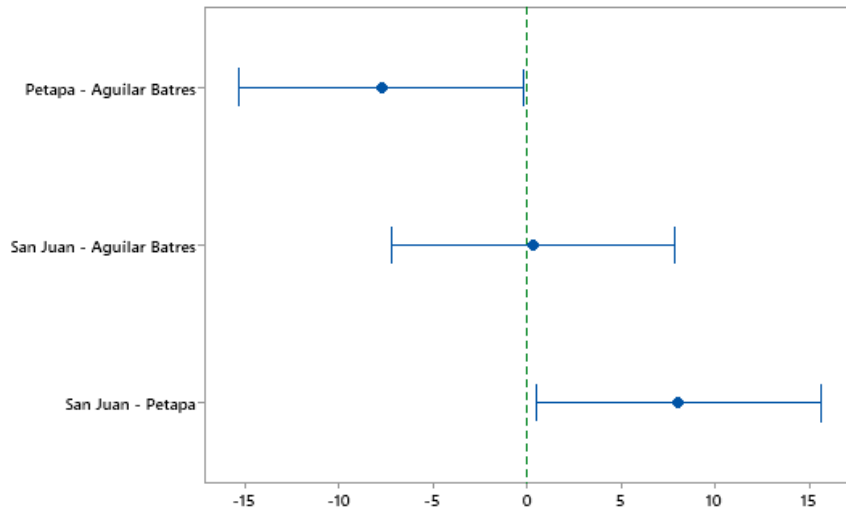
<b>Sede</b>	<b>Agrupación</b>
Vista Hermosa II	A
La Paz	A
San Juan	B
Aguilar Batres	B
Petapa	B

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Se realiza la prueba de Tukey para agrupar las categorías que tiene una media estadísticamente igual según la confianza con la que se analiza. En este caso, según la tabla VIII, quedaron dos grupos: A y B. Prueba realizada por medio del programa estadístico Minitab versión 19.1.

Se realizaron análisis de varianza para los grupos encontrados por la prueba de Tukey, de los cuales varió un grupo. Estos resultados son presentados en la figura 24 y figura 25. Así también se presentan en la tabla IX y tabla X el estudio de ANOVA para las parejas que si cumplieron con la hipótesis nula.

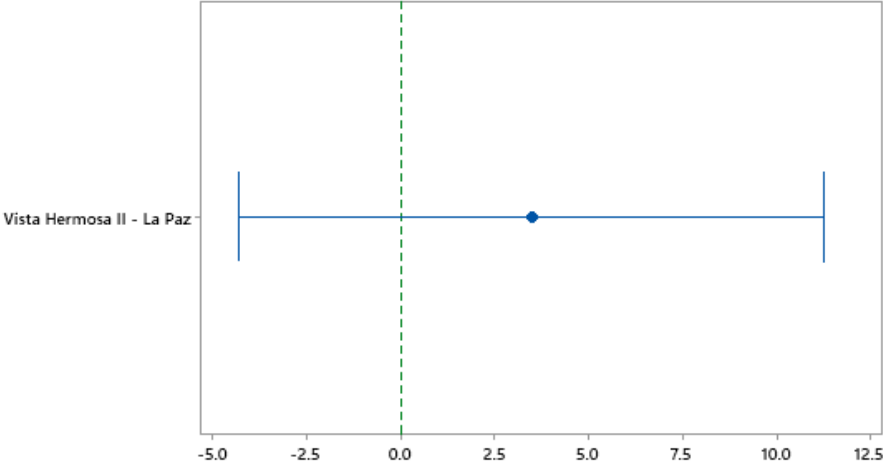
Figura 24. **Intervalos de confianza de 95% de Tukey simultáneos para las diferencias de las medias para peso, sedes en primera ruta**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

La figura 24 muestra una igualdad estadística con el 95 % de confianza, solamente con el segundo grupo, que cruza el centro (la línea punteada); grafico obtenido por medio del programa estadístico Minitab versión 19.1, en un análisis con la prueba de Tukey.

Figura 25. **Intervalos de confianza de 95 % de Tukey simultáneos para las diferencias de las medias para peso, sedes en segunda ruta**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

La figura 25 muestra una igualdad estadística con el 95 % de confianza, de las sedes estudiadas del grupo A, como se puede ver en la tabla VIII, cruzando el centro (la línea punteada). Gráfico obtenido por medio del programa estadístico Minitab versión 19.1, en un análisis con la prueba de Tukey.

Tabla IX. **ANOVA para primera ruta: Aguilar Batres y San Juan**

<i>Origen de las variaciones</i>	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<i>Entre grupos</i>	1.00 E-3	1.00	1.00x10 <sup>-3</sup>	0.03	0.86	4.22
<i>Dentro de los grupos</i>	0.81	26.00	0.03			
<i>Total</i>	0.81	27.00				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Se acepta la hipótesis nula de la prueba de ANOVA, con un 95 % de confianza, ya que el valor crítico es mayor al valor de prueba F. Se puede decir que la generación de borra mensual entre sedes es estadísticamente igual para el mes recolectado. Prueba realizada por medio del programa Excel 2019

Tabla X. **ANOVA para segunda ruta: La Paz y Vista Hermosa II**

<i>Origen de las variaciones</i>	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<i>Entre grupos</i>	0.01	1	0.01	0.44	0.51	4.22
<i>Dentro de los grupos</i>	0.61	26	0.02			
<i>Total</i>	0.62	27				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

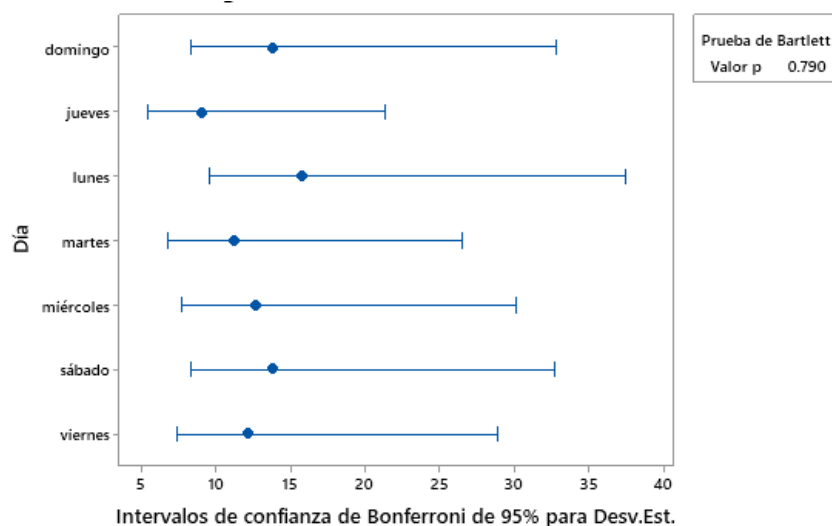
Según la tabla X, se acepta la hipótesis nula de la prueba de ANOVA, con un 95 % de confianza, ya que el valor crítico es mayor al valor de prueba F. Se

puede decir que la generación de borra mensual entre sedes es estadísticamente igual para el mes recolectado. Prueba realizada por medio del programa Excel 2019.

### 3.1.3. Análisis de varianza para generación por días

Se realizaron análisis para comprobar la igualdad de producción por días en proporción a la generación mensual de las distintas sedes. Para este análisis se realizó la prueba de homocedasticidad, y la se tomó la normalidad de los datos de la figura 22.

Figura 26. Prueba de homocedasticidad con los días como factor analizado.



Fuente: Elaboración propia, realizado con Minitab.

Según la figura 26, existe igualdad en varianza de la generación de borra proporcional a la generación mensual, en todas las sedes ya que los intervalos

convergen en un punto y el valor de Bartlett es mayor a 0.05, el nivel de significancia. La prueba de homocedasticidad fue realizada por medio del programa estadístico Minitab versión 19.1.

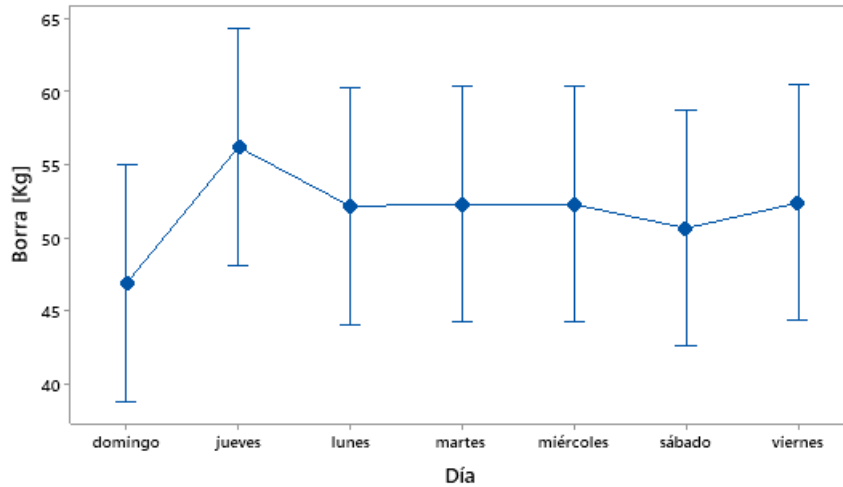
Tabla XI. **ANOVA con dos factores: sede y día de la semana**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
<i>Día</i>	0.18	6	0.03	0.96	0.47	2.37
<i>Sede</i>	1.57	4	0.39	12.68	1.76E-06	2.64
<i>Interacción</i>	0.41	24	0.02	0.54	0.94	1.83
<i>Dentro del grupo</i>	1.09	35	0.03			
<i>Total</i>	3.25	69				

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

El análisis ANOVA, se realizó mediante el programa Excel 2019, con el fin de verificar cumplimiento de los requisitos de normalidad y homocedasticidad. Según F de la tabla XI, el valor de prueba contra el valor estadístico, Se acepta la hipótesis nula en día e interacción, es decir la proporción generada por día en cada sede.

Figura 27. **Intervalos de confianza de producción de borra respecto al día de la semana**



Fuente: elaboración propia, realizado con Minitab.

La figura 27 muestra el análisis de varianza, realizada por medio del programa estadístico Minitab versión 19.1, muestra una intersección de los intervalos dando validez observable al análisis de ANOVA.

### 3.2. Extracto de café

Los antioxidantes del café se extrajeron mediante la técnica de rota evaporación. Se analizaron tres variables: humedad, tamaño de grano y solvente. A continuación, se presentan los resultados correspondientes a dichas variables.

#### 3.2.1. Humedad

La medición de la humedad del café se realizó en dos puntos: antes y después de lixiviar, tal como se presenta en la tabla XII. Este dato fue de

importancia al determinar el tiempo aproximado de las fases de secado y la obtención del extracto de café.

Tabla XII. **Humedad de café antes y después de lixiviar**

<b>Muestra</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Desv. Est. (%)</b>
Borra	55.22	±4.43
Sin lixiviar	3.94	±0.15

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

### 3.2.2. Granulometría

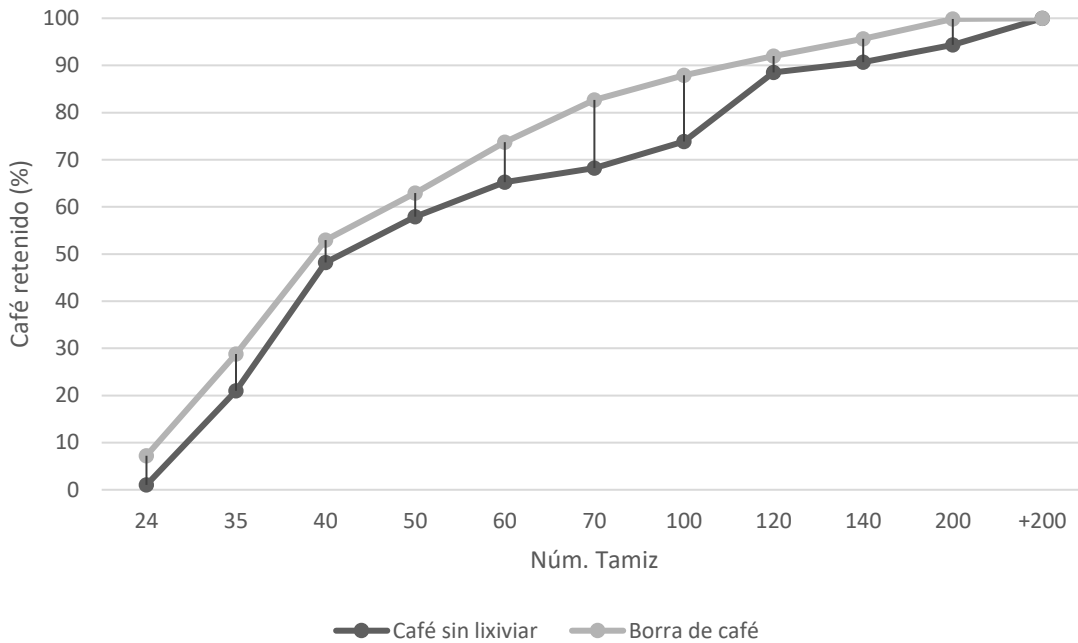
Se realizó un análisis granulométrico a la muestra antes y después de lixiviado, graficado en la figura 28. Los sólidos disueltos de la tabla XIII representan la cantidad en masa que queda en la bebida, la cual ingieren los consumidores de café, determinada por diferencia de peso.

Tabla XIII. **Sólidos disueltos en la preparación de café**

<b>ST (%)</b>	<b>Desv. Est. (%)</b>
15.00	0.80

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 28. **Porcentaje retenido acumulado**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

La pendiente de un punto a otro, en la gráfica de la figura 28, representa la diferencia de retenido entre tamices. El grano de café antes de la bebida contiene mayor porcentaje entre 35, 40, y 120. Esto se mantiene después como borra a excepción del grano retenido en el tamiz 120, dando pauta de la incidencia del tamaño de grano en la preparación de la bebida.

### 3.2.3. Prueba de mejor solvente

Los sólidos totales son los que logra arrastrar el solvente de la muestra homogénea. Se realizó la prueba para ambos extractos. Los resultados se

muestran en las tablas XIV y XV. Ambos extractos se realizaron con un solvente al 70 % de etanol.

Tabla XIV. **Sólidos totales de residuo de café poslixiviado**

<b>Solvente etanol-Agua (%)</b>	<b>Sólidos totales (%)</b>
30	0.20
50	0.20
70	0.26
90	0.13

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla XV. **Sólidos totales de residuo de café pre lixiviado**

<b>Solvente etanol-agua (%)</b>	<b>Sólidos totales (%)</b>
30	0.40
50	0.50
70	0.50
90	0.40

Nota: no se ve diferencia entre los porcentajes medios, tomando como criterio para la selección el menor porcentaje de agua.

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

### **3.2.4. Rendimiento**

El rendimiento de la extracción se refiere al extracto obtenido de la cantidad inicial de muestra, los datos de la tabla XVI son en base a la cantidad de muestra seca colocada en el cono de lixiviación de la figura 10.

Tabla XVI. **Rendimiento de extracción**

<b>Extracto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Café Prelixiviado	21.94
Café Poslixiviado	7.53

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

### 3.3. **Capacidad antioxidante**

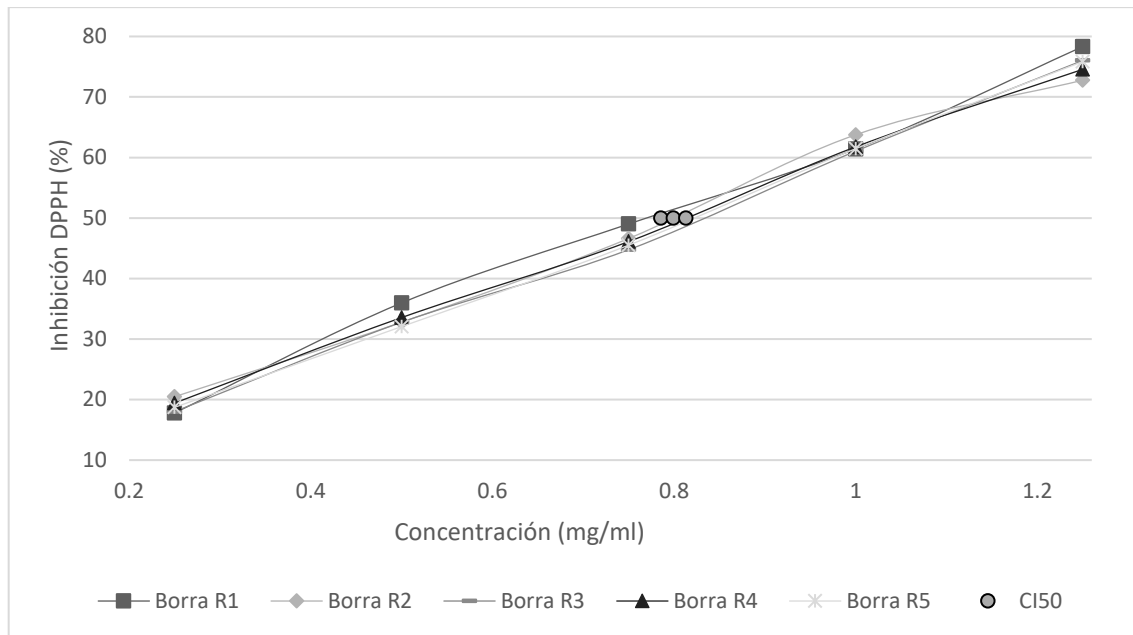
En la tabla XVII se muestra el rango de concentraciones trabajadas para determinar la capacidad antioxidante. Posteriormente se muestran el resultado de capacidad antioxidante en las muestras antes y después de lixiviado.

Tabla XVII. **Concentraciones óptimas para el ensayo DPPH**

<b>Concentración inicial (mg/mL)</b>			<b>5</b>
<b>Núm. Dilución</b>	<b>Muestra (µL)</b>	<b>Metanol (µL)</b>	<b>Concentración final (mg/mL)</b>
1	30.00	970.00	0.15
2	50.00	950.00	0.25
3	100.00	900.00	0.50
4	150.00	850.00	0.75
5	200.00	800.00	1.00

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 29. **Comportamiento de Inhibición de radical DPPH por café lixiviado**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

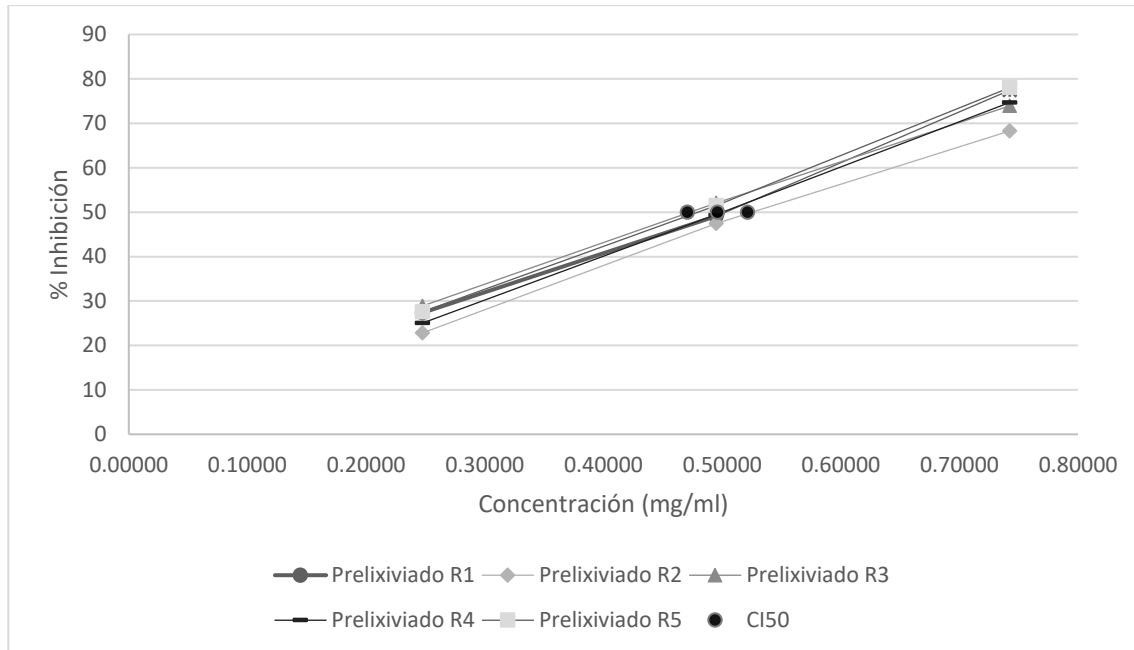
Se realizaron ensayos con distintas concentraciones hasta encontrar parte lineal de la curva de inhibición, las concentraciones óptimas se muestran en la tabla XVII. En la figura 29 y figura 30 se muestran las repeticiones de la curva de inhibición por quintuplicado, demostrando linealidad.

Tabla XVIII. **Inhibición al 50 % de radical DPPH por café lixiviado**

CI <sub>50</sub>	Desv. estándar
0.79	±0.01

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 2019.

Figura 30. Comportamiento de Inhibición de radical DPPH por café prelixiviado



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel 2019.

Tabla XIX. Inhibición del 50 % de radical DPPH por café prelixiviado

CI <sub>50</sub>	Desv. Estándar
0.49	±0.02

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

### 3.3.1. Prueba de datos pareados

En la tabla XX se muestra el resultado para la prueba de medias para datos pareados, con el fin de determinar estadísticamente la igualdad o diferencia de la inhibición del 50% del radical DPPH entre el café pre y post lixiviado, es decir una misma muestra con distinto tratamiento.

Tabla XX. Prueba de medias para datos pareados de café pre y poslixiviado

<i>Prueba</i>	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	0.49	0.79
Varianza	64.45E-5	18.98E-5
Observaciones	5.00	5.00
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.27	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-21.15	
P(T<=t) dos colas	2.95E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.77	

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El impacto del residuo de café se evaluó por medio de la valoración másica en los diferentes puntos de muestreo. Las tablas I a la V dan los modelos lineales para las cinco sedes. Todos los modelos tienen un coeficiente de Pearson arriba de 0.98, lo cual demuestra la linealidad del modelo seleccionado, asegurando la confiabilidad de la de generación de borra mensual.

El modelo se puede utilizar solamente para predicciones mensuales acumuladas, es decir no da valores puntuales de la generación por día, siendo este constante en el modelo matemático.

Se obtuvieron 15 datos para todos los puntos de muestreo, a excepción de La Paz, donde se muestreó 21 días. La primera semana la cafetería se encontraba en un tiempo de apertura y posicionamiento en el área. Los quince días muestreados posteriormente mostraron datos más estables, como se ve en la tabla II, con el coeficiente de determinación más alto.

La tabla VI presenta los datos resumidos de generación mensual y promedio diario. En ella se puede observar la diferencia de promedio entre los datos muestreados por quince días y el obtenido por medio del modelo matemático, la diferencia entre ambos representa menos del 2 % en la mayoría de cafeterías estudiadas, reforzando la confiabilidad del modelo.

Por medio de la prueba de ANOVA se determinó si la generación mensual para todas las cafeterías es estadísticamente igual. Dicho análisis requiere la

comprobación de dos supuestos estadísticos: comportamiento normal y homocedasticidad. Los datos no presentan el primer supuesto, requiriendo una transformación para analizarlos estadísticamente.

Los datos transformados cumplen con los requerimientos para realizar la prueba de ANOVA. La operación aritmética utilizada para la transformación fue el logaritmo, determinado por una función estadística llamada Box-Cox. La normalidad de los datos transformados se observa en la figura 22, por medio de la prueba de Anderson-Darling. En la figura 23 se presenta el supuesto de igualdad de varianza, aceptado por la prueba de Bartlett. Ambas pruebas dan un valor de prueba mayor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

La tabla VII muestra los resultados para determinar si el promedio de generación es igual en todas las cafeterías. No se puede generalizar la producción mensual para todas las cafeterías ya que se rechaza la hipótesis nula en el análisis de varianza, demostrado por el valor F mayor que el F crítico ( $15.32 > 2.51$ ). Debido al resultado se prosiguió a realizar prueba de Tukey con el 95 % de confianza.

La prueba de Tukey consiste en una comparación en parejas, con la cual agrupa las medias que no cuentan con diferencia estadística. La tabla VIII, muestra dos agrupaciones resultantes de la prueba. Los grupos coinciden con el mes de muestreo. Se procedió a realizar una prueba entre grupos, en la cual solamente se obtuvieron dos coincidencias.

Se determinó que no existe diferencia estadística entre el promedio de generación de residuo mensual, con un nivel de confianza del 95 %, en las siguientes parejas de cafeterías: calzada La Paz-Vista Hermosa II y calzada San Juan-calzada Aguilar Batres, en el mes de agosto y julio respectivamente. La

producción en el mes de agosto es de 116.09 kilogramos, y en el mes de julio es 70.4 kilogramos por cafetería. Teniendo en cuenta la gran cantidad de cafeterías tipo Barista en el país, se magnifica el valor de la generación mensual.

Se analizó la producción según los días, según los distintos puntos de muestreo. Se realizó la prueba de homocedasticidad entre días, observable en la figura 26 cumpliendo el supuesto para realizar un análisis de varianza de dos factores, ya que el valor de prueba es mayor que el nivel de significancia.

No existe diferencia significativa, en la proporción de generación diaria de residuo de café molido para las cafeterías estudiadas, con un nivel de confianza del 95 %, como lo muestra la tabla XI. Lo cual es indicativo que las sedes generan en promedio el mismo residuo según el día de la semana, y no hay diferencia significativa en la generación por día sin importar el punto de muestreo.

La igualdad estadística de la generación de borra por día se ilustra en la figura 27 por medio de los intervalos de confianza donde se observa intersección entre días. Los días domingo y jueves muestran un comportamiento discontinuo, aunque no lo suficiente como para incumplir la hipótesis nula. Generalizar la producción a según el día de la semana da la pauta para optimizar el proceso de recolección, estableciendo el día óptimo y el volumen necesario del recipiente de cogida.

La obtención del extracto se trabajó mediante la técnica de rotaevaporación, donde se tiene el control de las variables de humedad, tamaño de grano y solvente. La humedad es una variable control para disminuir el tiempo de extracción, mejora las condiciones de trabajo e influye en el límite de presión en el que trabaja el equipo, siendo variable crítica en la muestra.

La tabla XII expone la humedad inicial de la muestra recolectada, sobrepasando el 50 %, índice de un tiempo de secado largo. Un proceso óptimo en el equipo requiere una humedad en muestra menor al 10 %. La temperatura de secado influyó en el tiempo de manera inversa, esta fue de 40 °C para preservar los metabolitos más volátiles. El seguimiento de secado se realizó cada 24 horas, siendo 55 horas el tiempo máximo.

Los sólidos disueltos en la bebida de café es el 15 % del peso en tableta, (20 gramos), dejando un 85 % como borra. Se visualizan las partículas disueltas en la granulometría presentada. El tamaño de grano influye inversamente en la solubilidad de metabolitos, mientras más fino es el grano, se disuelve con mayor facilidad. La muestra tiene una granulometría para la preparación de café expreso, con un grano menor a 0.075 mm (Tamiz #200).

El café sin lixiviar presenta una granulometría con comportamiento constante, esto quiere decir que es equitativo en los distintos tamices. En la figura 28 se puede observar que contiene granos que transitan el tamiz #200, son partículas muy finas. Por el contrario, la granulometría de la borra de café muestra un comportamiento parabólico finalizando sin partículas menores a 0.075 mm.

El proceso de lixiviación por el que pasa el grano molido para la obtención de la bebida de café, disuelve las partículas más finas. Esto deja la borra con una partícula de mayor diámetro. El tiempo y la cantidad de metabolitos extraídos se ven afectados por esta variable, dejándose ver en la selección del solvente y en el rendimiento de la extracción.

El solvente busca disolver los sólidos de la muestra. Las tablas XIV y XV muestran el porcentaje de sólidos totales en los distintos solventes, el mejor en este caso es etanol al 70 % en agua. El café sin lixiviar tiene una partícula más

fina, por lo que se disuelve mejor en una mezcla al 50 % de etanol; a pesar de ello, no existe diferencia significativa al utilizar etanol al 70 %.

Se determinó el solvente cuidando el mantenimiento de la bomba de succión, a menor presión de vapor, menor trabajo en la bomba y menor tiempo de extracción. La selección del solvente para ambos extractos fue del 70 %, ya que es preferible mayor concentración de etanol, con una presión de vapor menor y por lo tanto la presión de vacío no es crítica.

El rendimiento de la extracción de metabolitos de café refleja los sólidos disueltos en la preparación de la bebida; entre extractos, hubo una variación de rendimiento; sin embargo, todos muestran un valor alto como lo muestra la tabla XVI, variando significativamente entre extractos. La borra cuenta con un rendimiento del 7.50%, 3 veces menor que el café puro; por medio de un análisis financiero se puede incorporar su uso a nivel industrial.

La capacidad antioxidante se determinó por medio de curvas del porcentaje de inhibición del radical por parte del extracto. El extracto poslixiviado tiene una excelente actividad antioxidante, según las concentraciones menores a 1 mg/mL, como se ve en la tabla XVII.

El método reporta la concentración a la que inhibe el 50 % del radical, entre más bajo es la concentración  $CI_{50}$  es mejor la actividad antioxidante, llegando a su punto máximo con una menor cantidad de extracto. La capacidad antioxidante tiene un comportamiento logarítmico. El método por DPPH, reporta el 50 % de la inhibición con el fin de evitar la asíntota al final de la reacción. Para ello el método determina un segmento y lo asemeja a un comportamiento lineal, tal como se presentan las absorbancias medidas en la reacción de inhibición, tabla XVIII y tabla XIX.

El  $CI_{50}$  del grano de café guatemalteco, evaluado en siete regiones es en promedio de 1.24 mg/mL, valor equivalente a 1.50 veces el  $CI_{50}$  presentado en la Tabla XVIII, del residuo de café molido estudiado, siendo una mejor fuente de antioxidantes (Cruz *et al.*, 2018).

La tabla XIX muestra el  $CI_{50}$  del café puro sin lixiviar, este es 1.60 veces la capacidad en la borra de café. Esto quiere decir que en la bebida de café se perdió aproximadamente el 60 % de la propiedad, no obstante, la actividad presentada sigue teniendo un valor atractivo como fuente de antioxidantes.

Tomando como referencia el café guatemalteco en general, la actividad remanente es el 64 % del café original. Por lo tanto, la borra de café estudiada contiene una mejor actividad antioxidante que el dato reportado en la investigación citada.

El estudio de datos pareados rechaza la hipótesis nula, determinando que la diferencia entre la capacidad antioxidante del café molido antes y después de la preparación de la bebida de café no es nula, es decir, difiere estadísticamente.

## CONCLUSIONES

1. Es factible valorizar el residuo de café molido mediante su capacidad antioxidante cerrando su economía circular, puesto que cuenta con mejor inhibición de radicales libres en comparación con el extracto del grano de café guatemalteco.
2. Generalizar la producción de borra mensual entre cafeterías, no fue estadísticamente viable, siendo una variable dependiente del mes de muestreo y ubicación de la cafetería; sin embargo, no existe diferencia significativa en la proporción de generación diaria de residuo de café molido para las cafeterías estudiadas, con un nivel de confianza del 95 %.
3. La capacidad antioxidante del grano de café molido es de 0.79 mg/mL, medido por su IC<sub>50</sub> del radical DPPH, contiene 1.5 veces la actividad antioxidante del grano de café guatemalteco, ofreciendo a la industria una alternativa amigable con el medio ambiente.
4. La actividad antioxidante del residuo de café molido no es estadísticamente igual al café molido sin lixiviar según la prueba de datos pareados, rechazando la hipótesis nula con un 95 % de confianza. La preparación de la bebida disminuye la propiedad en un 60 %, aun así, el residuo sigue siendo una fuente atractiva de antioxidantes.



## RECOMENDACIONES

1. Implementar un programa de economía circular de acorde al Acuerdo Gubernativo 281-2015, involucrando entes generadores de residuos sólidos de café e interesados en fuentes antioxidantes como materia prima.
2. Integrar el extracto en formulaciones para productos cosméticos, farmacéuticos y en alimentos, ya que cuenta con capacidad antioxidante superior al café molido guatemalteco.
3. Realizar un análisis financiero del proceso de extracción y recolección del residuo, proporcionándole un valor económico, con el fin de agregarlo a la producción en industrias que requieran fuentes antioxidantes.
4. Adicional a la capacidad antioxidante, aprovechar de manera similar el residuo, realizando una caracterización completa de metabolitos.



## REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo No. 281-2015. *Política Nacional para la Gestión de Residuos y Desechos Sólidos*. Diario de Centro América. Guatemala 15 de diciembre de 2015.
2. Acuerdo Gubernativo No. 509-2001. Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios. Diario de Centro América. Guatemala, 28 de diciembre de 2001.
3. Alvarado, C., Castañeda, B., Muñoz, A., y Ramos, D. (Julio, 2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(3), 142-149. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2007000300003&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2007000300003&script=sci_arttext&tlng=pt).
4. Anzola, C., y Sánchez, D. (Julio, 2012). Caracterización química de la película plateada del café (coffea arábica) en variedades Colombia y Caturra. *Revista Colombia de Química*, 41(2), 211–225. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309028756004.pdf>.
5. Aragón, M., Macías, S., Morones, J., y Villanueva, G., (Septiembre, 2016). Efecto antiinflamatorio del ácido cafeico sobre la pulpitis en un modelo experimental en Cobayos. *Revista ADM*, 73(5), 250-254.

Recuperado de:  
<https://www.medigraphic.com/pdfs/COMPLETOS/adm/2016/od165.pdf#page=34>.

6. Asuero, A., Fett, R., Kuskoski, E., Mancini, J., y Troncoso, A. (Diciembre, 2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Revista Food Science and Technology*, 25(4), 726-732. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>.
7. Balboa, C., y Somonte, M. (Enero, 2014). Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3. *Informador Técnico*, 78(1), 82–90. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4881026.pdf>.
8. Batrez, P., Hernández, A., López, W., Pedroza, A. y Solorzano, M. (25 de agosto, 2013). *Consumo del café*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: [http://demandadelcafeenguatemala.blogspot.com/2013/08/a-consumo-del-cafe\\_25.html](http://demandadelcafeenguatemala.blogspot.com/2013/08/a-consumo-del-cafe_25.html).
9. Berent, M. y Vedoya, D. (2005). *Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos un Ciudades Intermedias del NEA, Orígenes, Tipos y Composición de Residuos*. (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico para el Diseño Ambiental del Hábitat Humano (ITDA Hu.), Resistencia, Chaco, Argentina. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Mario-Berent/publication/349305731\\_Tratamiento\\_de\\_Residuos\\_Solidos\\_Urbanos\\_un\\_Ciudades\\_Intermedias\\_del\\_NEA\\_Origenes\\_Tipos\\_](https://www.researchgate.net/profile/Mario-Berent/publication/349305731_Tratamiento_de_Residuos_Solidos_Urbanos_un_Ciudades_Intermedias_del_NEA_Origenes_Tipos_)

y\_Composicion\_de\_Residuos/links/6029c657299bf1cc26c7e5ad/T  
ratamiento-de-Residuos-Solidos-Urbanos-un-Ciudades-  
Intermedias-del-NEA-Origenes-Tipos-y-Composicion-de-  
Residuos.pdf.

10. Bravo, J., Mollinedo, P., Peñarrieta, J., Tejeda, L., y Vila, J. (2014). Phenolic compounds in food. *Revista boliviana de química*, 31(2), 68-81. Recuperado de: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602014000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602014000200006&script=sci_arttext).
11. Camey, O. (Junio, 2016). Mercado de consumo de café. Innovando de lo tradicional a lo Gourmet. *Revista Académica ECO*, 14, 25-43. Recuperado de [http://recursosbiblio.url.edu.gt/CParens/Revista/ECO/Numeros/14/00/00\\_ECO\\_14.pdf#page=39](http://recursosbiblio.url.edu.gt/CParens/Revista/ECO/Numeros/14/00/00_ECO_14.pdf#page=39).
12. Cantero, A. (2009). *Estudio de la capacidad antioxidante y la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos del aceite de oliva. Primeras etapas en el desarrollo de un aceite de oliva funcional*. (Tesis de doctorado). Universidad de Lleida, España. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8394/Tasc1de1.pdf?sequence=3.xml>.
13. Castaño, C. y Hernández, P. (Abril- junio, 2018). Activos antioxidantes en la formulación de productos cosméticos antienvjecimiento. *Ars Pharmaceutica* 59(2), 77-84. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.30827/ars.v59i2.7518>.

14. Cerdá, E., y Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401, 11-20. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/metricas/documentos/ARTREV/5771932>.
15. Cortes S., Ortiz A., Ramírez L., y Aristizabal. (2017) *Determinación de antioxidante en subproductos de café producido y comercializado en Risaralda*. (Tesis doctoral). Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7597/63373C828.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
16. Cruz, S., Marroquín, N., Pinales, S. y Ramos, M. (Noviembre, 2018). *Evaluación de la actividad antioxidante y detección de marcadores químicos en extractos de hojas y granos de siete variedades de café comercializadas en Guatemala. Guatemala*. (Informe de investigación). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC, Guatemala. Recuperado de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puicb/INF-2018-12.pdf>.
17. Cruz, S., Marroquín, N., Pinales, S. y Ramos, M. (Septiembre, 2019). *Simposio Latinoamericano de caficultura*. Simposio llevado a cabo en ciudad de Guatemala, Guatemala. Recuperada de [https://promecafe.net/wp-content/uploads/2019/XXIV\\_Simposio\\_Multimedia/Panel\\_IV/6.Potencial\\_antioxidante\\_y\\_composicio%CC%81n\\_qui%CC%81mica\\_de\\_hojas\\_y\\_granos\\_\\_de\\_cafe%CC%81\\_proveniente\\_de\\_7\\_regiones\\_de\\_Guatemala\\_-\\_Sully\\_Cruz.pdf](https://promecafe.net/wp-content/uploads/2019/XXIV_Simposio_Multimedia/Panel_IV/6.Potencial_antioxidante_y_composicio%CC%81n_qui%CC%81mica_de_hojas_y_granos__de_cafe%CC%81_proveniente_de_7_regiones_de_Guatemala_-_Sully_Cruz.pdf).

18. Cuadras, S. (9 de julio, 2018). El café de Guatemala. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.forumdelcafe.com/noticias/cafe-guatemala>.
19. Dardón, B., y Luna, A. (16 de Enero de 2019). Mercado interno de café se amplía en Guatemala. *Prensa Libre*. Recuperado de [https://www.prensalibre.com/guatemala/sube-aroma-cafe\\_0\\_409759023-html/](https://www.prensalibre.com/guatemala/sube-aroma-cafe_0_409759023-html/).
20. Donangelo C. y Farah, A. (Marzo, 2006). Compuestos fenólicos en café. *Revista brasileña de fisiología vegetal*. 18 (1), 23-36. Recuperado de : [https://www.researchgate.net/publication/250024354\\_Phenolic\\_compounds\\_in\\_coffee\\_Braz](https://www.researchgate.net/publication/250024354_Phenolic_compounds_in_coffee_Braz).
21. González, B. (30 de mayo, 2019). Los desechos sólidos en la ciudad de Guatemala. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://investigacionparatodos.usac.edu.gt/art%C3%ADculos-principales/item/25-desechos-s%C3%B3lidos>.
22. Gordon, M., Pokorny, J., y Yanishlieva, N. (Marzo, 2002) Antioxidants in Food: Practical Applications. *The British journal of nutrition* 87(4), 391-391. Recuperado de doi:10.1079/BJN2001510
23. Gotteland, M. y de Pablo V, S. (Junio, 2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002>.

24. Guija, E., Inocente, M., Ponce, J., y Zarzosa, E. (Enero- marzo, 2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*, 15(1), 57–60. Recuperado de <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>.
25. Halliwell, B. y Gutteridge, J. M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Nueva York, Estados Unidos, Oxford University Press.
26. Jiguan, B. (20 de Marzo de 2018). Consumo de café aumenta en dos años. *Diario de Centroamérica*. Recuperado de <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centroamerica/consumo-de-cafe-aumenta-en-dos-anos/>.
27. Londoño, J., Naranjo, M., y Quintero, M. (Octubre, 2013). Estudio de los cambios de la actividad antioxidante en bebidas de café durante su periodo de vida útil usando métodos in-vitro y ex-vivo. *Vitae, Revista de la facultad de Química Farmacéutica*, 20(2), 95–104. Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/vitae/article/view/13377>.
28. Lupo, M y. Stallings, A. (Junio, 2009). Practical uses of botanicals in skin care. *Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 2(1), 36–40. Recuperdo de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2958188/>.
29. Magliano, J. (Mayo, 2014). Antioxidantes de uso tópico en Dermatología. *Tendencias en Medicina*, 10, 91–96. Recuperado de

[http://tendenciasenmedicina.com/Imagenes/imagenes44/art\\_17.pdf](http://tendenciasenmedicina.com/Imagenes/imagenes44/art_17.pdf)  
f.

30. Municipalidad de Guatemala (2020). Dirección de Gestión y Manejo de Residuos y Desecho sólidos. Ciudad de Guatemala: Autor. Recuperado de [http://docs.muniguate.com/2021/memoria/arch/Director\\_de\\_Gesti%C3%B3n\\_y\\_Manejo\\_de\\_Residuos\\_y\\_Desechos\\_S%C3%B3lidos.pdf](http://docs.muniguate.com/2021/memoria/arch/Director_de_Gesti%C3%B3n_y_Manejo_de_Residuos_y_Desechos_S%C3%B3lidos.pdf).
31. Moreno, E. y Nieto, J. (2018). *Residuos orgánicos en una economía circular*. (Tesis de licenciatura). Universidad de América, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6726/1/6122896-2018-1-IQ.pdf>.
32. Ojeda, V. (2018). Antecedentes, limitaciones, barreras y problemática del manejo de los residuos en la región. *Revista Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.1* (1). 1-12. Recuperado de <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>.
33. Puertas, M., Rojano, B., y Villegas, P. (Enero, 2013). Borra de café colombiano (*Coffea arabica*) como fuente potencial de sustancias con capacidad antirradicales libres in vitro. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3), 469-478. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-47962013000300013](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962013000300013).

34. Rodríguez, N. y Zambrano , D.; (Marzo, 2010). Subproductos del café:  
Fuente de Energía Renovable. *CENICAFÉ Avances técnicos* 393.  
Recuperado de  
<https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Resultados de estudio previo de cafeterías en Guatemala**

Se realizó un estudio base para la presente propuesta de investigación. El estudio consistió en dos fases. Primero, se realizaron encuestas virtuales sobre las cafeterías reconocidas en la ciudad capital para poder seleccionar una de ellas.

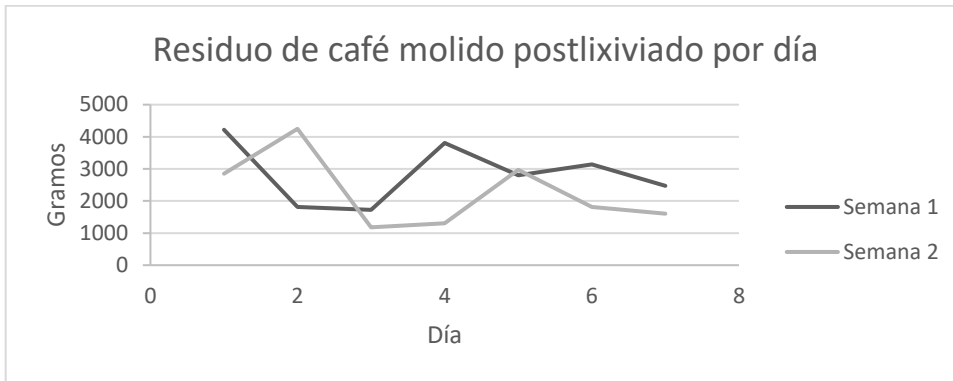
En la figura 1.1 se muestra las cafeterías de la ciudad de Guatemala más visitadas, en la figura 1.5 las más reconocidas por departamento. El criterio para seleccionar la cafetería a analizar en la segunda fase fue:

- Cafeterías que utilicen café nacional para la preparación de sus productos.
- Cafetería reconocida interdepartamental.
- Cafetería con más franquicias en la ciudad capital

La cafetería seleccionada es la fuente para la obtención de muestra y respaldo a la relevancia de la valoración del residuo, por lo tanto, no se indicará la marca utilizada para el estudio.

La segunda fase consistió en entrevistas a gerentes, así como en el pesado de una de las sedes de la cafetería seleccionada. Esto se llevó a cabo diariamente por quince días seguidos. Se determinó la cantidad máxima generada y los días de la semana con más consumo de café

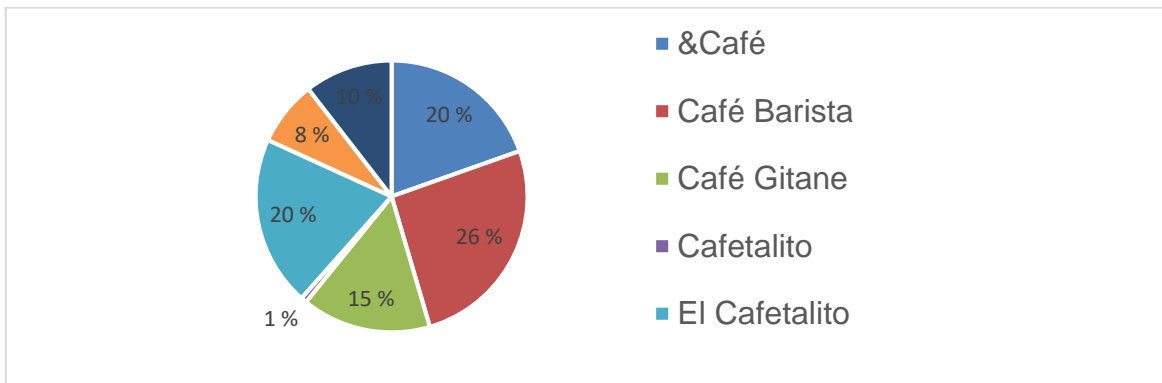
- Residuo de café molido recolectado por día



Nota: datos de estudio previo, durante dos semanas en una sede de la cafetería a estudiar.

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

- Cafeterías más visitadas en la ciudad de Guatemala



Nota: cafeterías tipo barista, guatemaltecas, mencionadas durante el estudio previo sobre popularidad de coffeeshops.

Fuente: elaboración propia, realizado con Formularios de Google.

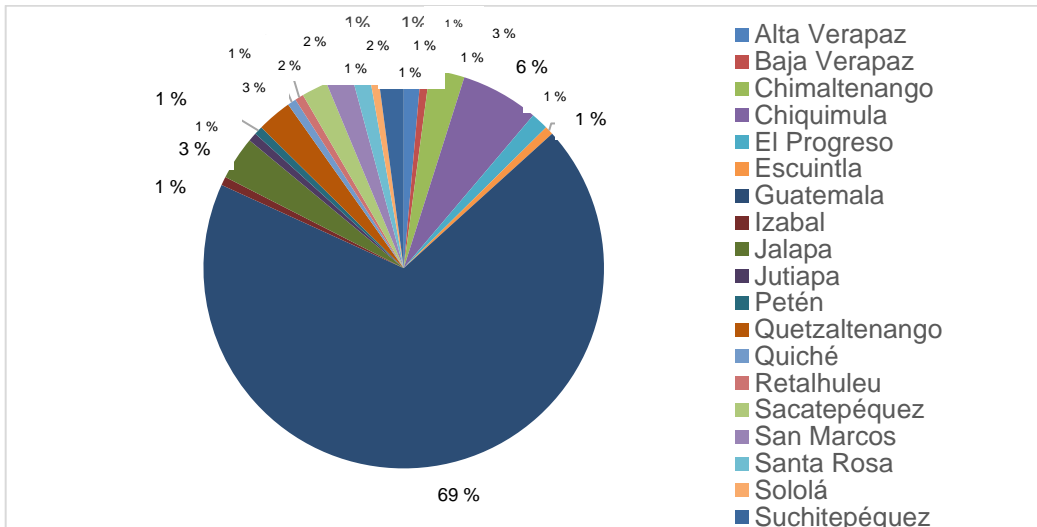
- Modelo de encuesta a gerentes de tiendas

The image shows a vertical survey form with a dark background and light-colored text. The title 'BORRA DE CAFÉ' is at the top. Below it are several questions, each followed by a white rectangular input field. The questions are: 'CARGO', 'PRESENTACIÓN DEL CAFÉ UTILIZADO', 'PROMEDIO DE LIBRAS POR SEMANA DE CAFÉ', 'PROMEDIO DE LIBRAS DE CAFÉ UTILIZADO EN FECHAS FESTIVAS', 'DÍA DE LA SEMANA CON MAYOR AUGE (NO FESTIVO)', 'REALIZAN SEPARACIÓN DE RESIDUOS, ¿CUAL?', 'DISPOSICIÓN FINAL PARA LA BORRA DE CAFÉ', and 'PERIODICIDAD PARA EXTRACCIÓN DE RESIDUOS'. At the bottom, there is a small line of text: 'Colaboración para tesis: Paulo Vásquez'.

Nota: encuesta realizada con el fin de conocer sobre el tratamiento y cantidad de residuos generados en las cafeterías seleccionadas

Fuente: elaboración propia, realizado con Canva.

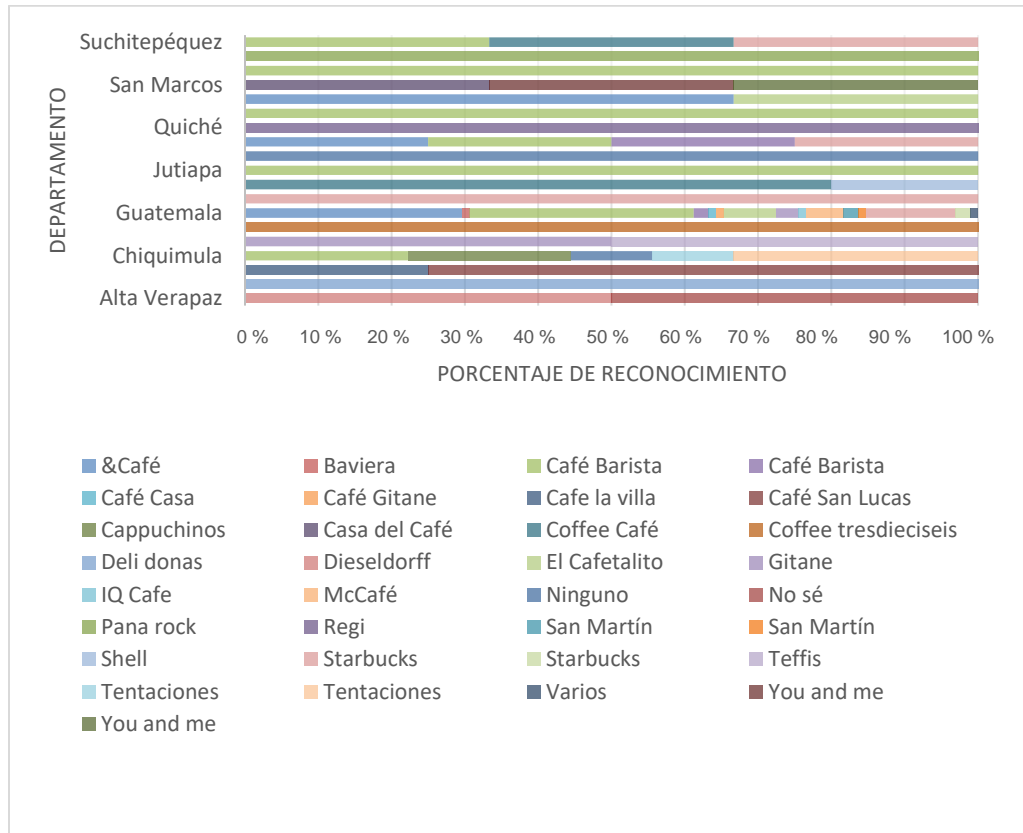
- Porcentaje de personas encuestadas por departamento



Nota: encuesta en la que participaron personas de todos los departamentos del país de Guatemala.

Fuente: elaboración propia, realizado con Formularios de Google.

- Cafeterías reconocidas de los distintos departamentos de Guatemala



Nota: selección libre de cafeterías más visitadas en los distintos departamentos.

Fuente: elaboración propia, realizado con Formularios de Google.

## Apéndice 2. Resultados tabulados

A continuación, se presentan los datos tabulados obtenidos en las cinco cafeterías estudiadas. Estos datos fueron los utilizados para el análisis estadístico.

- **Peso de café en sede Aguilar Batres**

<b>Fecha</b>	<b>Peso húmedo real Café (g)</b>
27/06/2021	858.00
26/06/2021	3354.00
25/06/2021	3524.00
24/06/2021	2355.00
23/06/2021	1582.00
22/06/2021	2447.00
21/06/2021	1677.00
20/06/2021	2114.00
19/06/2021	2383.00
18/06/2021	992.00
17/06/2021	2896.00
16/06/2021	2499.00
15/06/2021	2279.00
14/06/2021	3854.00

Fuente: elaboración propia.

- **Peso de café en sede La Paz**

<b>Fecha</b>	<b>Peso húmedo real Café (g)</b>
25/07/2021	2283.00
24/07/2021	3014.00
23/07/2021	3924.00
22/07/2021	3123.00
21/07/2021	4888.00
20/07/2021	3010.00
19/07/2021	5143.00
18/07/2021	2766.00
17/07/2021	5358.00
16/07/2021	4172.00
15/07/2021	2945.00
14/07/2021	3886.00
13/07/2021	3658.00
12/07/2021	3503.00
10/07/2021	1194.00
9/07/2021	2306.00
8/07/2021	823.00
7/07/2021	1360.00
6/07/2021	1053.00

Fuente: elaboración propia.

- **Peso de café en sede Petapa**

<b>Sede</b>	<b>Fecha</b>	<b>Peso húmedo real Café (g)</b>
Petapa	27/06/2021	760.00
Petapa	26/06/2021	1545.00
Petapa	25/06/2021	1911.00
Petapa	24/06/2021	1811.00
Petapa	23/06/2021	1862.00
Petapa	22/06/2021	1537.00
Petapa	21/06/2021	905.00
Petapa	20/06/2021	1442.00
Petapa	19/06/2021	1586.00
Petapa	18/06/2021	1280.00
Petapa	17/06/2021	2834.00
Petapa	16/06/2021	1859.00
Petapa	15/06/2021	1594.00
Petapa	14/06/2021	1705.00

Fuente: elaboración propia.

- Peso de café en sede San Juan

<b>Sede</b>	<b>Fecha</b>	<b>Peso húmedo real Café (g)</b>
San Juan	27/06/2021	1816.00
San Juan	26/06/2021	1842.00
San Juan	25/06/2021	2944.00
San Juan	24/06/2021	3340.00
San Juan	23/06/2021	2846.00
San Juan	22/06/2021	2740.00
San Juan	21/06/2021	3751.00
San Juan	20/06/2021	2530.00
San Juan	19/06/2021	1643.00
San Juan	18/06/2021	2239.00
San Juan	17/06/2021	2989.00
San Juan	16/06/2021	1607.00
San Juan	15/06/2021	1706.00
San Juan	14/06/2021	971.00
San Juan	16/02/2021	1608.43
San Juan	15/02/2021	1816.63
San Juan	14/02/2021	2971.92
San Juan	13/02/2021	1300.90
San Juan	12/02/2021	1179.33
San Juan	11/02/2021	4247.42
San Juan	10/02/2021	2854.90
San Juan	9/02/2021	2476.15
San Juan	8/02/2021	3137.94
San Juan	7/02/2021	2803.19
San Juan	6/02/2021	3806.53
San Juan	5/02/2021	1723.64
San Juan	4/02/2021	1814.36
San Juan	3/02/2021	4218.39

Fuente: elaboración propia.

- **Peso de café en sede Vista Hermosa II**

<b>Sede</b>	<b>Fecha</b>	<b>Peso húmedo real Café (g)</b>
Vista Hermosa II	19/07/2021	4610.00
Vista Hermosa II	18/07/2021	3918.00
Vista Hermosa II	17/07/2021	1309.00
Vista Hermosa II	16/07/2021	4213.00
Vista Hermosa II	15/07/2021	4436.00
Vista Hermosa II	14/07/2021	2126.00
Vista Hermosa II	13/07/2021	4359.00
Vista Hermosa II	12/07/2021	2557.00
Vista Hermosa II	11/07/2021	5218.00
Vista Hermosa II	10/07/2021	5334.00
Vista Hermosa II	9/07/2021	3586.00
Vista Hermosa II	8/07/2021	5605.00
Vista Hermosa II	7/07/2021	5629.00
Vista Hermosa II	6/07/2021	5163.00
Vista Hermosa II	5/07/2021	5386.00

Fuente: elaboración propia.

- **Datos para la obtención de la humedad**

<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>
100.00	78.00
100.00	79.00
116.00	92.00
117.00	99.00
122.00	100.00
100.00	80.00
121.00	99.00
120.00	104.00
41.00	20.00
1.01	0.44
0.57	0.24

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Herramientas de investigación, árbol del problema**



Nota: mapa conceptual de causa y efecto de la decadencia de GIRS en la ciudad de Guatemala.

Fuente: elaboración propia, realizado con Power Point.