

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS EXTRACTOS
VEGETALES PRODUCIDOS A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES
GENERADOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

EDIER FELIPE GÓMEZ GÓMEZ
GINA YESENIA SAMPAYO VELÁSQUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2020

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS EXTRACTOS
VEGETALES PRODUCIDOS A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES
GENERADOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

EDIER FELIPE GÓMEZ GÓMEZ
GINA YESENIA SAMPAYO VELÁSQUEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Químico

DIRECTOR

DEBORA NABARLATZ

PhD. en Ingeniería Química

CODIRECTORES

JOSE GABRIEL LÓPEZ ORTIZ

MSc. en Ingeniería Química

JULIÁN MAURICIO GUERRERO RODRÍGUEZ

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2020

A Dios por dejarme llegar a cumplir este anhelo, a mi madre que siempre estuvo presente en cada momento de este camino, a mi padre por su apoyo constante, a mis familiares por sus alientos y bendiciones, a mis amigos que estuvieron en cada paso de mi vida universitaria y al universo que conspira sobre mi llenándome de éxito.

Edier Felipe Gómez Gómez

A Dios por sus bendiciones, por darme la oportunidad en el momento correcto de cumplir una de mis mayores metas y por obrar de forma perfecta aunque no lo entienda. A mi Madre por su amor y plena confianza, por ser mi guía y mi base, porque sin ella nada de esto habría sido posible. Madre este logro es de las dos. A mi Padre por su amor, por creer en mi potencial, por alentarme a ser mejor persona y a crecer espiritualmente. A mi hermano por ser mi inspiración, por confiar en mí y enseñarme cada día de la humildad y el apoyo incondicional. A mis amigos por formar parte de esta etapa de mi vida al llenarme de recuerdos y muchas alegrías.

Gina Yesenia Sampayo Velásquez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por ser el alma máter que nos abrió las puertas, contribuyendo a nuestra formación tanto profesional como personal durante estos años, también por brindarnos todas las herramientas necesarias y permitirnos disfrutar de diversos espacios que enriquecieron la experiencia de vida universitaria.

A la PhD. y profesora Debora Nabarlatz por la colaboración y el seguimiento que nos ofreció durante la trayectoria académica y las experiencias compartidas.

Al MSc. José Gabriel López Ortiz por el acompañamiento durante el transcurso de este trabajo, por compartir en cada oportunidad su conocimiento en esta área y por la confianza depositada.

Al Ing. Julián Mauricio Guerrero Rodríguez por el apoyo, los consejos y el conocimiento que nos brindó al momento de realizar nuestro trabajo de grado.

A la empresa Zumotec S.A. por la oportunidad, la confianza y el apoyo brindado tanto económico como formativo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. OBJETIVOS.....	25
1.1.OBJETIVO GENERAL.....	25
1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	26
2.1.ETAPA 1: PRODUCCIÓN DE LOS EXTRACTOS ACUOSOS.....	26
2.1.1. Determinación del contenido de humedad de la muestra.....	27
2.1.2. Técnicas de extracción para la elaboración de extractos vegetales acuosos	28
2.2.ETAPA 2: CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES, CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES, PODER REDUCTOR DE Fe ³⁺ Y PODER REDUCTOR DE Cu ²⁺ DE LOS EXTRACTOS OBTENIDOS.....	30
2.2.1. Método de Miller (DNS) para medición de azúcares reductores (AR).....	30
2.2.2. Método de Folin-Ciocalteu para la cuantificación de contenido de polifenoles totales (CPT).....	31
2.2.3. Método de Oyaizu para la determinación del poder reductor de Fe ³⁺	32
2.2.4. Método de Benedict modificado para la determinación del poder reductor de Cu ²⁺	33
2.3.ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	34
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4. CONCLUSIONES.....	46
5. RECOMENDACIONES.....	47

BIBLIOGRAFÍA..... 48

ANEXOS 58

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

	pág.
Tabla 1. Selección de residuos agroindustriales potenciales.....	35
Tabla 2. Correlación de Pearson entre capacidades y compuestos antioxidantes.	44
Figura 1. Diseño metodológico.....	26
Figura 2. Aparato soxhlet.....	29
Figura 3. Porcentaje de rendimiento de las extracciones acuosas por los métodos de maceración y soxhlet para los diversos materiales vegetales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.	37
Figura 4. Contenido de azúcares reductores en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.	38
Figura 5. Contenido de polifenoles totales en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.	39
Figura 6. Poder reductor del Fe ³⁺ en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.	41
Figura 7. Poder reductor del Cu ²⁺ en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.	43

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Caracterización del material vegetal, componente y capacidad antioxidante presentes en residuos agroindustriales.	58
Anexo B. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en azúcares reductores $\alpha=0.05$	59
Anexo C. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en contenido de polifenoles totales $\alpha=0.05$	65
Anexo D. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en poder reductor de Fe^{3+} $\alpha=0.05$	73
Anexo E. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en poder reductor de Cu^{2+} $\alpha=0.05$	81
Anexo F. Coeficientes de correlación de Pearson.	89
Anexo G. Coeficientes de correlación de Pearson (Gráficas).	91
Anexo H. Prueba de hinchamiento	91

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS EXTRACTOS VEGETALES PRODUCIDOS A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.¹

AUTORES: EDIER FELIPE GÓMEZ GÓMEZ, GINA YESENIA SAMPAYO VELÁSQUEZ**

PALABRAS CLAVES: RESIDUOS, EXTRACTOS, AZÚCARES REDUCTORES, POLIFENOLES, PODER REDUCTOR, ANTIOXIDANTE.

DESCRIPCIÓN:

El presente estudio se realizó con el fin de producir extractos vegetales con capacidad antioxidante a partir de residuos agroindustriales tales como cáscaras de limón, mandarina, naranja, plátano maduro, plátano verde, piña, maíz, yuca, aguacate y semillas de mora y aguacate generados en el departamento de Santander. Los extractos vegetales acuosos se obtuvieron usando las técnicas de extracción maceración y soxhlet, manteniendo una relación de soluto:solvente de 1:10 peso/volumen con tamaño de partícula entre 0,841 y 0,595 mm. Se caracterizaron los compuestos antioxidantes por el método de Miller para determinar los azúcares reductores y el método de Folin-Ciocalteu para cuantificar el contenido de polifenoles totales; así mismo se evaluó la capacidad antioxidante mediante el procedimiento de Oyaizu valorando el poder reductor de Fe^{3+} y con la metodología de Benedict modificada se analizó el poder reductor de Cu^{2+} . Se analizaron las diferencias significativas ($p < 0,05$) entre métodos de extracción de las especies para cada caracterización, aplicando el modelo estadístico *t de student*.

Los mejores resultados para las cuatro metodologías analizadas fueron, en términos de su correspondiente contenido en azúcares reductores la cáscara de maíz 1115,48 (mg glucosa/g extracto), en contenido de polifenoles totales la cáscara de aguacate 428,59 (mg equivalente ácido gálico/g extracto), en el poder reductor de Fe^{3+} la cáscara de mandarina 0,50 (mg equivalente ácido gálico/ml reacción) y en el poder reductor de Cu^{2+} la cáscara de maíz 24,87 (g $CuSO_4$ reducidos/g extracto). La extracción por maceración resultó ser por lo regular la mejor técnica para obtener extractos con cantidades relevantes de azúcares reductores y poder reductor de Cu^{2+} ; mientras que el método de extracción soxhlet en general obtuvo en sus extractos mayores resultados en el contenido de polifenoles totales y poder reductor de Fe^{3+} . Se observó una correlación lineal entre contenido de polifenoles totales y poder reductor de Fe^{3+} ($r=0,623$).

¹ Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Débora Nabarlitz. Ingeniera Química, PhD. Codirectores: José Gabriel López Ortiz, Ingeniero Químico, M.Sc. y Julián Mauricio Guerrero Rodríguez, Ingeniero Químico.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT CAPACITY OF VEGETABLE EXTRACTS PRODUCED FROM AGRO-INDUSTRIAL WASTE GENERATED IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER.²

AUTHORS: EDIER FELIPE GÓMEZ GÓMEZ, GINA YESENIA SAMPAYO VELÁSQUEZ**

KEYWORDS: WASTE, EXTRACTS, REDUCING SUGARS, POLYPHENOLS, REDUCING POWER, ANTIOXIDANT.

DESCRIPTION:

This research was done in order to produce vegetable extracts with antioxidant capacities from types of agro-industrial waste such as from lemon, tangerine, orange, green and yellow plantain, pineapple, corn, yucca, avocado and blackberry produced in Santander. The aqueous vegetable extracts were prepared by maceration and soxhlet extractive techniques with a solid:solvent ratio of 1:10 w:v; there was also necessary to have a particle size between 0.595 and 0.841 mm. The extracts obtained were characterized by using the method of Miller to determinate the amount of reducing sugar, and the Folin-Ciocalteu method to quantify the total content of polyphenols. The antioxidant capacity was tested by the Oyaizu method; this method allowed us to calculate the reducing power of the Fe^{3+} ions; the reducing power of the Cu^{2+} particles was tested with the modified Benedict method. Moreover, the accuracy of the data obtained in each characterization were analyzed using the statistic method "t Student".

The best results were chosen based on 4 characteristics: reducing sugar content, polyphenols content, reducing power of Fe^{3+} and reducing power of Cu^{2+} . The best ones were got by the corn husk ($1115,482 \pm 95,923$ mg glucose/g extract), avocado peel ($428,591 \pm 68,610$ mg equivalent of gallic acid/g extract), tangerine peel ($0,497 \pm 0,056$ mg equivalent of gallic acid /ml reaction) and corn husk ($24,870 \pm 0,318$ g reduced CuSO_4 /g extract) respectively. The extraction process by maceration was the best technique to get extracts with higher amounts of reducing sugar and reducing power of Cu^{2+} . However, the Soxhlet method got higher levels of polyphenols and reducing power of Fe^{3+} . Hence, a linear correlation was obtained for the total polyphenols content and reducing power of Fe^{3+} ($r=0.623$).

² Bachelor thesis.

** Physicochemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director: Débora Nabarlitz. Chemical Engineer, PhD. Codirector: José Gabriel López Ortiz. Chemical Engineer, M.Sc. and Julián Mauricio Guerrero Rodríguez, Chemical Engineer,

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país rico en recursos naturales, principalmente en frutas y verduras, debido a las características geográficas, climáticas y biológicas que se presentan durante todo el año. Por tanto, se hace necesario obtener el mayor provecho de dichos alimentos, ya que sus principales componentes proveen múltiples beneficios.

Conforme a la descripción nutricional de las frutas y verduras se ha encontrado que estas contienen diversas clases de compuestos antioxidantes. La capacidad antioxidante se basa en la respuesta que tiene cada sistema ante un agresor oxidativo, reduciendo de forma parcial o anulando la capacidad electrofílica de los oxidantes ^{1 2}.

En las frutas y verduras se encuentran compuestos antioxidantes como: ácidos fenólicos, antocianinas, carotenoides, flavonoides, vitamina C y vitamina E³, los cuales pueden encontrarse en una variedad de concentraciones de acuerdo con el lugar y a las condiciones en que se sembró el cultivo y a la parte de la fruta o verdura que se tome⁴. No obstante, la mayor parte consumida del producto es la pulpa, desechando de esta manera el sobrante y prescindiendo del resto de propiedades y beneficios que sus componentes tienen.

Por otro lado, la agroindustria utiliza vegetales y frutas como materia prima por lo que genera una alta cantidad de productos secundarios sin valor, estos pueden tener un atractivo potencial agregando una valorización a los desechos y pérdidas

¹ QUINTANAR ESCORZA M. A. y SALINAS CALDERÓN J. V., "La Capacidad Antioxidante Total. Bases y Aplicaciones.," Rev. Educ. Bioquim., vol. 28, no. 3, pp. 89–101, 2009.

² SERRANO DRAGO M. E., LÓPEZ LÓPEZ M., y ESPUÑES SAÍNZ T. del R., "Componentes Bioactivos de Alimentos Funcionales de Origen Vegetal," Rev. Mex. Ciencias Farm., vol. 37, no. 4, pp. 58–68, 2006.

³ MORENO E., ORTIZ B. L., y RESTREPO L. P., "Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales," Rev. Colomb. Química, 2015, doi: 10.15446/rev.colomb.quim.v43n3.53615.

⁴ KOCA I. y KARADENIZ B., "Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey," Sci. Hortic. (Amsterdam)., 2009, doi: 10.1016/j.scienta.2009.03.015.

de alimentos utilizándolos como materia prima para obtener extractos con características antioxidantes y/o antimicrobianas.

Por ende, consideramos que, mediante el estudio detallado de ciertas biomásas generadas durante la etapa de procesamiento industrial, tales como cáscaras y semillas, se puede generar una base preliminar de información útil sobre la caracterización de estos materiales vegetales de mayor producción en la región de Santander, ya que existe poca información disponible; con el fin de conocer la actividad antioxidante como primer acercamiento para posteriores estudios^{5 6}.

En este trabajo se evalúa la capacidad antioxidante de extractos vegetales acuosos a partir de residuos agroindustriales producidos en el departamento de Santander. Debido a la problemática presentada se busca una posible alternativa de solución al interrogante ¿Cómo se podrían valorizar las biomásas resultantes de los residuos vegetales generados durante la fase de procesamiento industrial?

Los cultivos frutihortícolas en el territorio nacional comprenden el 24% del total de la producción agrícola nacional. Durante los años 2018 y 2019 se sembraron 1,03 y 1,06 millones de hectáreas, respectivamente, reflejando un aumento del 2%; para estos años se dio un incremento del 5% en la producción pasando de 11,3 a 11,8 millones de toneladas de producto aproximadamente^{7 8}.

⁵ GOBERNACIÓN DE SANTANDER, EVALUACIONES AGROPECUARIAS MUNICIPALES, y UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA, "Evaluaciones Agropecuarias Departamento de Santander 2016," EVA 2016, p. 133, 2016.

⁶ AGRONET - MINISTERIO DE AGRICULTURA, "Santander-Principales Cultivos por Área Sembrada en 2017", 2017.

⁷ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA, ASOCIACIÓN HORTIFRUTÍCOLA DE COLOMBIA - ASOHOFRUCOL, y FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTÍCOLA - FNF, "Balance del Sector Hortifrutícola 2019," Frutas & Hortalizas, vol. 69, p. 48, 2020.

⁸ ASOHOFRUCOL - FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTÍCOLA - FNF y ASOCIACIÓN HORTIFRUTÍCOLA DE COLOMBIA, "Balance del Sector Hortifrutícola," p. 16, 2019.

El sector agrícola en el país mantiene sus áreas productivas agrupadas en cultivos transitorios, anuales y permanentes⁹. Los departamentos con mayores áreas sembradas de frutas y hortalizas son Antioquia (11%), Santander (7%), Tolima (7%), Meta (6%), Nariño (6%), Valle del Cauca (6%), Cundinamarca (6%) y Córdoba (5%), correspondientes al 53% del total del área sembrada; por otra parte la mayor participación en la producción de los vegetales son Antioquia (11%), Santander (10%), Meta (8%), Arauca (7%), Valle del Cauca (7%), y Cundinamarca (6%), correspondientes al 49% del total de la producción nacional^{7 8}. En este sentido, el sector agrícola del departamento de Santander tuvo una producción de 1.902.455 t en el año 2018, de las cuales 1.062.480 t son de los cultivos frutihortícolas, siendo 974.957 t de cultivos permanentes y 87.523 t de cultivos transitorios, por lo anterior cabe resaltar la riqueza con la que cuenta la región^{5 10}.

Los cultivos potenciales de frutas y verduras en la región de Santander (según AGRONET)⁶ reportaron que para el año 2018 la piña cuenta con una producción acumulada de 65.620.929 t, el plátano de 20.925.300 t, la naranja de 15.236.331 t, la yuca de 14.868.782, la mandarina de 13.549.521 t, la mora de 4.308.206 t, el aguacate de 3.902.234 t, el limón de 2.006.179 t y el maíz de 1.610.013 t¹¹.

Sin embargo, con la producción de estos alimentos se genera un gran impacto ambiental debido al vertimiento de desechos como cáscaras, semillas y pulpa

⁵ GOBERNACIÓN DE SANTANDER, EVALUACIONES AGROPECUARIAS MUNICIPALES, y UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA, "Evaluaciones Agropecuarias Departamento de Santander 2016," EVA 2016, p. 133, 2016.

⁶ AGRONET - MINISTERIO DE AGRICULTURA, "Santander-Principales Cultivos por Área Sembrada en 2017", 2017.

⁷ SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA, ASOCIACIÓN HORTIFRUTÍCOLA DE COLOMBIA - ASOHOFRUCOL, y FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTÍCOLA - FNF, "Balance del Sector Hortifrutícola 2019," Frutas & Hortalizas, vol. 69, p. 48, 2020.

⁸ ASOHOFRUCOL - FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTÍCOLA - FNF y ASOCIACIÓN HORTIFRUTÍCOLA DE COLOMBIA, "Balance del Sector Hortifrutícola," p. 16, 2019.

⁹ DANE, 3er Censo Nacional Agropecuario, vol. 2. 2016.

¹⁰ MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, "Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA," 2019. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge>.

¹¹ MINISTERIO DE AGRICULTURA, "Participación Departamental en la Producción y en el Área Cosechada," AGRONET, 2020.

procedentes de esta industria, pues solo una parte es aprovechada como comida sin tener en cuenta los componentes activos que quedan en el resto del cultivo producido.

En Colombia se dispone una oferta de 28,5 millones de toneladas de alimentos (cereales, frutas, hortalizas, raíces, tubérculos, pescados, cárnicos, productos lácteos, oleaginosos y legumbres) al año, de las cuales 9,76 millones de toneladas (34% aproximadamente) se pierden y se desperdician, siendo el 64% de pérdidas debidas a la disminución de la masa de alimentos disponibles principalmente por ineficiencia en las cadenas de producción, mientras que el 36% de desperdicios está relacionado con el comportamiento, los hábitos de compra y consumo, y la manipulación de alimentos^{12 13 14}.

Las pérdidas se dan en los eslabones de producción agrícola (40,5%) por daños mecánicos, factores climáticos y derrames durante la cosecha; en la poscosecha y almacenamiento (19,8%) debido a la degradación durante el manejo y el transporte entre el cultivo y la distribución; y en el procesamiento industrial (3,5%) con degradaciones en la producción. Los desperdicios figuran en las etapas de distribución y venta (20,6%); y el consumo final a nivel de hogar (15,6%)^{12 15}.

El grupo alimenticio de frutas y verduras es el que sufren mayores pérdidas y desperdicios, considerando que al año las pérdidas en la producción agrícola son 2,9 millones de toneladas, en poscosecha y almacenamiento son 1,1 millón de toneladas y en procesamiento industrial 300.000 toneladas, mientras que los

¹² CASTAÑEDA C., MARTINEZ J. David, y PUERTA N., "Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia," Dep. Nac. Planeación, p. 48, 2016.

¹³ TAFUR REYES R., et al., "Plan Frutícola Nacional," p. 43, 2006, [Online]. Available: <http://bit.ly/1pBbD9I>.

¹⁴ MINISTERIO NACIONAL Y PROTECCIÓN SOCIAL y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA FAO, "Perfil nacional de consumo de frutas y verduras," FAO, p. 264, 2013.

¹⁵ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - DPN, "Colombianos Botan 9,76 Millones de Toneladas de Comida al Año," 2016. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-al-año.aspx>.

desperdicios en la distribución son 1,4 millones de toneladas y en el consumo final son 280.000 toneladas^{12 14 15}.

A nivel regional la zona centro-oriental (Cundinamarca, Santander, Norte de Santander y Boyacá) es la de mayor influencia en la pérdida nacional de alimentos con un 27,7%, la región caribe con 18,2%, el eje cafetero con 17,1%, la región pacífica con 17,1%, los llanos con 10,9% y centro-sur con 9,0%^{12 15}.

La región con mayor participación en desperdicios es la centro-oriental con un 48,3%, luego está el eje cafetero (Antioquia, Quindío, Caldas y Risaralda) con 18,3%, la región pacífica con 13,8%, el caribe con 13,4%, centro-sur con 4,2% y los llanos con un 2,0%^{12 15}.

Las empresas procesadoras de frutas y hortalizas en Colombia tienen participación en sectores como fabricación de jugos (40%), encurtidos y salsas (25%), conservas (16%), concentrados de frutas, pulpas y vegetales congelados (12%), y de mermeladas y jaleas (7%)¹⁶.

Por ejemplo, en el sur del Valle de Aburrá y Medellín se generan aproximadamente 163 t/día de residuos de frutas en el sector agroindustrial. En el caso particular de 12 empresas frutícolas de esta zona, pertenecientes a los sectores de producción de jugos, frutas deshidratadas, mermeladas, pulpas, helados a base de frutas y

¹² CASTAÑEDA C., MARTINEZ J. David, y PUERTA N., "Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia," Dep. Nac. Planeación, p. 48, 2016.

¹⁴ MINISTERIO NACIONAL Y PROTECCIÓN SOCIAL y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA FAO, "Perfil nacional de consumo de frutas y verduras," FAO, p. 264, 2013.

¹⁵ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - DPN, "Colombianos Botan 9,76 Millones de Toneladas de Comida al Año," 2016. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas-de-comida-al-año.aspx>.

¹⁶ E. OBSERVATORIO DE COMPETITIVIDAD AGROCADENAS C. MINISTERIO DE AGRICULTURA y DESARROLLO RURAL, "Agroindustria y Competitividad," Obs. Agrocadenas Colomb., p. 519, 2006.

procesadoras de frutas, se genera un total de 14 t/día aproximadamente de residuos como cáscaras, semillas y pulpas¹⁷.

Los residuos agroindustriales utilizados para la producción de extractos son requeridos principalmente como material vegetal seco (sólido, polvo o granulado), considerando que de esta manera se logran interrumpir los procesos de degradación enzimática en las células vegetales y, a su vez, se evita el crecimiento de microorganismos, ayudando también a su almacenamiento, transporte y estabilidad sin que llegue a deteriorarse¹⁸.

En general, el acondicionamiento incluye una etapa de secado, la cual se basa en la eliminación de humedad de los sólidos por evaporación, con un flujo de aire a una presión determinada, ganando esta la humedad retenida en el. Posterior a esto, la fase de molienda tiene como objetivo la reducción del tamaño de partícula del material vegetal, con el fin de acondicionarlo para la próxima etapa del proceso de extracción. Los molinos de cuchillas son usados especialmente para material vegetal, poseen en la cámara de molienda láminas afiladas rotativas y fijas, y el tamaño de partícula depende de la malla acoplada en su parte inferior¹⁸.

Cabe resaltar que los fragmentos gruesos imposibilitan la penetración del solvente en el tejido vegetal, volviéndolo un proceso muy lento; por otro lado, los polvos muy finos pueden generar problemas de arrastre en el momento del proceso de extracción, dando apariencias turbias a los extractos¹⁸.

Por esta razón, los tamaños de partícula deben ser ajustados según el proceso de extracción; independientemente del resultado siempre se da cierta cantidad de tamaños finos los cuales deben ser separados mediante tamizaje para obtener el

¹⁷ YEPES S. M., NARANJO MONTOYA L. J., y SÁNCHEZ OROZCO F., "Valorización de Residuos Agroindustriales - Frutas- en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá," Rev. Fac. Nac. Agron., vol. 61, no. 1, pp. 4422–4431, 2008.

¹⁸ SHARAPIN N., Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. 2000.

material deseado, por lo general el material vegetal para extracciones se reduce a un tamaño de partícula entre 0,841 y 0,420 mm, equivalente a un mesh entre 30 y 40¹⁹.

Por otro lado, la selectividad del solvente a utilizar en el proceso extractivo debe ser determinado por su naturaleza y polaridad, cumpliendo con una alta eficiencia para la extracción. Cuando la materia seca se pone en contacto con el solvente se tiende a reconstruir el estado original de la célula, aquí se expulsa el aire del citoplasma y se da inicio al proceso extractivo. Como resultado se da la transferencia masiva del principio activo, donde las sustancias extraíbles se adhieren al solvente puesto que se induce un momento dipolar en dichas moléculas^{18 19}.

Las variables principales en los procesos de extracción son el estado de división del material seco, la agitación, la temperatura, el pH, la naturaleza del solvente y el tiempo de extracción. Los procesos de extracción tales como maceración y soxhlet dan como resultado un equilibrio de la concentración entre el soluto y el solvente¹⁸.

El proceso de maceración es muy útil cuando se extraen principios activos termolábiles. Consiste en poner en contacto el material seco y el solvente en un recipiente cerrado por un determinado tiempo, donde se llega a un equilibrio de concentración entre el material seco y el solvente.

Este equilibrio depende de factores según el material seco (por ejemplo, la naturaleza, el tamaño de partícula, contenido de humedad y cantidad) y factores relacionados con el solvente (como la selectividad y la cantidad). Dicho equilibrio se alcanza cuando aumenta la concentración del principio activo en el solvente y la

¹⁸ SHARAPIN N., Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. 2000.

¹⁹ SUKHDEV SWAMI H., et al., Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. 2008.

velocidad de transferencia de masa disminuye¹⁹. Para materiales vegetales usualmente se trabajan extracciones con relaciones de 1:10 peso/volumen^{20 21}.

Un factor importante en la maceración es el hinchamiento del material seco, ya que la permeabilidad de la pared celular y la difusión del solvente aumenta. Como etapa final se recurre a la centrifugación del residuo para la recuperación del extracto retenido en él ^{18 19 22}.

Estudios anteriores han reportado para extracciones por maceración un rendimiento de extracto del 11,1% peso/peso en las extracciones de cáscaras de aguacate en etanol²³, mientras que el extracto de bagazo de mora en etanol obtuvo el 10,72% peso/peso²⁴, la cáscara de naranja en agua tuvo un rendimiento del 2,6% peso/peso²⁵ y la cáscara de plátano en metanol alcanzó el 19,49% peso/peso²⁶.

El método de extracción por soxhlet, es un método semicontinuo donde el material seco es colocado en la cámara del aparato mediante cartuchos, el solvente en el matraz se calienta y sus vapores se condensan en el condensador. El extracto condensado gotea en la cámara que contiene el cartucho con el material vegetal y

¹⁸ SHARAPIN N., Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. 2000.

¹⁹ SUKHDEV SWAMI H., et al., Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. 2008.

²⁰ SOTO-GARCÍA M. y ROSALES-CASTRO M., "Efecto del Solvente y de la Relación Masa/Solvente, Sobre la Extracción de Compuestos Fenólicos y la Capacidad Antioxidante de Extractos de Corteza de *Pinus durangensis* Y *Quercus sideroxylla*," Maderas Cienc. y Tecnol., vol. 18, no. 4, pp. 701–714, 2016, doi: 10.4067/S0718-221X2016005000061.

²¹ MORAIS D. R. et al., "Antioxidant Activity, Phenolics and UPLC-ESI(-)-MS of Extracts from Different Tropical Fruits Parts and Processed Peels," Food Res. Int., vol. 77, pp. 392–399, 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.036.

²² MORENO VALDERRY C., Dispensación de Productos Farmacéuticos. 2014.

²³ AYMACAÑA ALBÁN A. E., "Caracterización Bromatológica de la Cáscara de Aguacate (*Persea Americana*) y Posterior Extracción e Identificación de la Fracción con Mayor Actividad Antimicrobiana y Antioxidante.," 2018.

²⁴ PASQUEL REÁTEGUI J. L., et al., "Extraction of Antioxidant Compounds from Blackberry (*Rubus* sp.) Bagasse Using Supercritical CO₂ Assisted by Ultrasound," J. Supercrit. Fluids, vol. 94, pp. 223–233, 2014, doi: 10.1016/j.supflu.2014.07.019.

²⁵ MAMTA A. y PARMINDER K., "Antimicrobial & Antioxidant Activity of Orange Pulp and Peel," Int. J. Sci. Res., vol. 2, no. 11, pp. 412–415, 2013.

²⁶ AHMAD B. A., et al., "Phytochemical Screening, Antioxidant Activity of Pure Syringin in Comparison to Various Solvents Extracts of *Musa Paradisiaca* (Banana) (Fruit and Flower) and Total Phenolic Contents," Int. J. Pharm. Pharm. Sci., vol. 7, no. 5, pp. 242–247, 2015.

lo extrae por contacto, cuando el nivel del líquido en la cámara sube hasta la parte superior del tubo sifón, el líquido contenido allí baja nuevamente al matraz. Este proceso es continuo y se lleva a cabo hasta que el disolvente del tubo sifón no arrastre extracto. Una de sus principales ventajas es que se puede extraer grandes cantidades de material vegetal con menores cantidades de solvente^{18 19}.

Mediante el lavado sucesivo del material vegetal, se pueden extraer de ella componentes cuya solubilidad en el solvente es muy baja, debido al efecto acumulado de las múltiples extracciones²⁷.

Se han encontrado reportes de rendimientos de extracciones por soxhlet tales como la cáscara de naranja, con agua como solvente donde se obtuvo un rendimiento de 12,7% peso/peso²⁵, mientras que al utilizar etanol se alcanzó un 27,96% peso/peso²⁸. Por otro lado, estudios con extractos etanólicos de cáscaras de mandarina alcanzaron un 34,85% peso/peso, con respecto a la cáscara de naranja tangelo se alcanzó un 37,24% peso/peso²⁹; además el bagazo de mora tiene un rendimiento de 14,58% peso/peso utilizando etanol²⁴.

La caracterización de los extractos obtenidos se realiza a través de pruebas antioxidantes tales como azúcares reductores, contenido de polifenoles totales, poder reductor del Fe³⁺ y poder reductor del Cu²⁺.

¹⁸ SHARAPIN N., Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos. 2000.

¹⁹ SUKHDEV SWAMI H., et al., Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. 2008.

²⁴ PASQUEL REÁTEGUI J. L., et al., "Extraction of Antioxidant Compounds from Blackberry (*Rubus* sp.) Bagasse Using Supercritical CO₂ Assisted by Ultrasound," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 94, pp. 223–233, 2014, doi: 10.1016/j.supflu.2014.07.019.

²⁵ MAMTA A. y PARMINDER K., "Antimicrobial & Antioxidant Activity of Orange Pulp and Peel," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 2, no. 11, pp. 412–415, 2013.

²⁷ CALDAS P., "Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido.," p. 48, 2012.

²⁸ HEGAZY A. E. y IBRAHIUM M. I., "Antioxidant Activities of Orange Peel Extracts," *World Appl. Sci. J.*, vol. 18, no. 5, pp. 684–688, 2012, doi: 10.5829/idosi.wasj.2012.18.05.64179.

²⁹ ARNEDO G. F., "Valorización de la Cáscara de Cítricos como Fuente de Antioxidantes para la Industria Alimentaria Mediante el Empleo de Procesos de Extracción No Convencionales," 2019.

Según el método de Miller, los azúcares reductores a determinadas condiciones logran reducir al ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), de manera que cuando este ácido es reducido en presencia del calor se da un cambio de color entre amarillo y café.

Este cambio de color permite analizar las variaciones mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 540 nm. La concentración de los azúcares totales que se extraen de la muestra se determina por medio de una interpolación en la curva patrón de glucosa, graficando la absorbancia en función de la concentración³⁰.

Estudios previos indican que el contenido de azúcares reductores en cáscaras de limón es de 291,26 (mg glucosa/g extracto cáscara) y naranja dulce de 358,93 (mg glucosa/g extracto cáscara) extraídos por maceración utilizando metanol como solvente³¹; con respecto a las cáscaras de plátano y naranja reportaron de 120 y 180 (mg Glucosa/g residuo seco) respectivamente utilizando agua en una extracción hidrolizada en autoclave³².

Mediante el método de Folin-Ciocalteu se determinan los polifenoles totales presentes en productos vegetales, donde estos polifenoles reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu el cual contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico.

El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en el medio ácido) de color amarillo al ser reducido por los grupos fenólicos, a pH básico, da una coloración azul intenso, la cual se mide por absorbancia en el espectrofotómetro a 765 nm y es cuantificada en base a una curva patrón de ácido gálico. El mecanismo

³⁰ MILLER G. L., "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar," *Anal. Chem.*, vol. 31, no. 3, pp. 426–428, 1959.

³¹ GUIMARÃES R., et al., "Targeting Excessive Free Radicals with Peels and Juices of Citrus Fruits: Grapefruit, Lemon, Lime and Orange," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 48, no. 1, pp. 99–106, 2010, doi: 10.1016/j.fct.2009.09.022.

³² HERNANDEZ C., et al., "Obtención de Bioetanol a partir de Hidrolizados de Residuos De Fruta," II Congr. Nac. Jóvenes Investig. en Ciencia, Ing. y Tecnol. los Aliment. Obtención, pp. 115–116, 2017.

de reacción es una reacción redox, por lo que además puede considerarse también, como un método de medida de la actividad antioxidante total³³.

Algunos resultados experimentales obtenidos del contenido de polifenoles totales indican que la mora tiene 24,8 (mg AG/g materia seco) extraídos por ultrasonidos con una solución de etanol y agua³⁴, en cuanto a las cáscaras de naranja tipo dulce como la Washington Navel y la Thomson Navel se alcanzaron valores de 9,61 y 25,60 (mg AG/g materia seco) respectivamente por extracciones con maceración y solución de agua etanol³⁵ y por otra parte la cáscara del maíz contiene 1,6 (mg AG/g materia seco) con extracción acuosa por ultrasonido³⁶.

El contenido de polifenoles totales de naranja tiene 169,56 (mg AG/g extracto cáscara) por extracción soxhlet en etanol²⁸, y con agua como solvente la extracción por maceración y soxhlet corresponden a 215 y 210 (mg AG/g extracto cáscara) respectivamente²⁵. La cáscara de limón contiene 87,77 (mg AG/g extracto cáscara) y la cáscara de naranja alcanzó 79,75 (mg AG/g extracto cáscara) mediante extracción por maceración con etanol³¹ y el plátano presentó 3,45 (mg AG/g extracto cáscara) utilizando metanol como solvente por maceración²⁶.

²⁵ MAMTA A. y PARMINDER K., "Antimicrobial & Antioxidant Activity of Orange Pulp and Peel," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 2, no. 11, pp. 412–415, 2013.

²⁶ AHMAD B. A., *et al.*, "Phytochemical Screening, Antioxidant Activity of Pure Syringin in Comparison to Various Solvents Extracts of Musa Paradisiaca (Banana) (Fruit and Flower) and Total Phenolic Contents," *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.*, vol. 7, no. 5, pp. 242–247, 2015.

²⁸ HEGAZY A. E. y IBRAHIUM M. I., "Antioxidant Activities of Orange Peel Extracts," *World Appl. Sci. J.*, vol. 18, no. 5, pp. 684–688, 2012, doi: 10.5829/idosi.wasj.2012.18.05.64179.

³¹ GUIMARÃES R., *et al.*, "Targeting Excessive Free Radicals with Peels and Juices of Citrus Fruits: Grapefruit, Lemon, Lime and Orange," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 48, no. 1, pp. 99–106, 2010, doi: 10.1016/j.fct.2009.09.022.

³³ GARCÍA E., FERNÁNDEZ I., y FUENTES A., "Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu," *Univ. Politec. Val. Dep. Tecnol. Aliment.*, p. 9, 2010, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/GarciaMart?nezetal.pdf?sequence=1>.

³⁴ ROJAS LLANES J. P., MARTINEZ J. R., y STASHENKO E. E., "Contenido de Compuestos Fenólicos y Capacidad Antioxidante de Extractos de Mora (*Rubus Glaucus Benth*) Obtenidos Bajo Diferentes Condiciones," *VITAE, Rev. LA Fac. QUÍMICA Farm.*, vol. 21, no. 3, pp. 218–227, 2014.

³⁵ LAGHA-BENAMROUCHE S. y MADANI K., "Phenolic Contents and Antioxidant Activity of Orange Varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) Cultivated in Algeria: Peels and Leaves," *Ind. Crops Prod.*, vol. 50, pp. 723–730, 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.07.048.

³⁶ DONG J. *et al.*, "Antioxidant Activities and Phenolic Compounds of Cornhusk, Corncob and Stigma *Maydis*," *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 25, no. 11, pp. 1956–1964, 2014, doi: 10.5935/0103-5053.20140177.

El poder reductor de ion férrico según el método de Oyaizu, se basa en la reducción del anión ferricianuro $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ a ferrocianuro $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$. Luego el anión se combina con el catión Fe^{3+} , formando el ferrocianuro férrico $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ de color azul. Entre mayor sea el poder reductor más intensidad se verá en el color de la sustancia analizada. La absorbancia se mide a una longitud de onda de 700 nm utilizando ácido gálico como referencia³⁷.

En publicaciones anteriores se determina que el poder reductor del ion férrico de la naranja tipo dulce como la Washington Navel tiene 0,075 (mg AG/ml extracto cáscara), y la Thomson Navel 0,238 (mg AG/ml extracto cáscara) mediante maceración con solución de agua metanol³⁵, la naranja y el limón tienen valores de 0,53 y 0,43 (mg AG/ml extracto cáscara) respectivamente utilizando metanol como solvente por la técnica de maceración³¹ y la cáscara de mandarina alcanza 0,856 (mg AG/ml extracto cáscara) con el método de maceración utilizando agua a 100°C³⁸.

La prueba de Benedict se usa para verificar la presencia de azúcares reductores, basándose en el reactivo de Benedict que es una mezcla compleja de citrato de sodio, carbonato de sodio y pentahidrato de sulfato de cobre (II). Dichos azúcares reductores al reaccionar con el reactivo de Benedict forman un precipitado color rojo ladrillo, indicando una prueba de Benedict positiva. Cuando un azúcar reductor se somete a calor en presencia de un álcali, se convierte en un enodiol (que es un agente reductor relativamente poderoso).

³¹ GUIMARÃES R., *et al.*, "Targeting Excessive Free Radicals with Peels and Juices of Citrus Fruits: Grapefruit, Lemon, Lime and Orange," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 48, no. 1, pp. 99–106, 2010, doi: 10.1016/j.fct.2009.09.022.

³⁵ LAGHA-BENAMROUCHE S. y MADANI K., "Phenolic Contents and Antioxidant Activity of Orange Varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) Cultivated in Algeria: Peels and Leaves," *Ind. Crops Prod.*, vol. 50, pp. 723–730, 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.07.048.

³⁷ PALADINO S. C., "Actividad Antioxidante de los Compuestos Fenólicos Contenidos en las Semillas de la VID (*Vitis vinifera* L.)," *Fac. Ciencias Agrar. Sede Mendoza*, p. 100, 2008, [Online]. Available: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2627/tesispaladino.pdf.

³⁸ JEONG S. M. *et al.*, "Effect of Heat Treatment on the Antioxidant Activity of Extracts from Citrus Peels," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 52, no. 11, pp. 3389–3393, 2004, doi: 10.1021/jf049899k.

Por lo tanto, cuando los azúcares reductores están presentes en el analito, los iones cúpricos (Cu^{2+}) en el reactivo de Benedict se reducen a iones cuprosos (Cu^+). Estos iones cuprosos forman óxido de cobre (I) con la mezcla de reacción y precipitan como un compuesto de color rojo ladrillo³⁹. Con base en la prueba de Benedict, la empresa Zumotec S.A. desarrolló una modificación para cuantificar la reducción del Cu^{2+} , mediante espectrofotometría estableciendo como solución patrón el reactivo de Benedict; la absorbancia se mide a una longitud de onda de 740 nm.

Los antioxidantes tienen aplicaciones en diferentes sectores de la industria, por ejemplo, en la farmacéutica y alimentaria, se utilizan como aditivos y conservantes para mantener la calidad del producto y ampliar su vida útil; en cosmética se utilizan para retardar el envejecimiento de la piel puesto que neutraliza los daños producidos por los radicales libres; y finalmente en la petroquímica, se utilizan para prevenir la oxidación de lubricantes o combustibles, entre otros beneficios⁴⁰. Por ejemplo, en la industria alimentaria como cárnicos se podrían evitar las alteraciones de la calidad organoléptica del producto al incorporar en forma líquida los extractos con capacidad antioxidante mediante marinado, inmersión o mezcla, preservando la vida útil del producto, evitando pérdidas nutricionales y consumiendo productos naturales^{41 42}. Por otra parte, los extractos cítricos por ejemplo de la naranja logran reducir la oxidación de los lípidos, las pérdidas durante la cocción de salchichas y al mismo tiempo incrementa la luminosidad y la coloración amarilla, gracias a la presencia de carotenoides ^{43 44}.

³⁹ BYJU'S The Learning App, "Benedict's Test," 2020. <https://byjus.com/chemistry/benedicts-test/>.

⁴⁰ DUQUE J. P., "Nuevos Compuestos Antioxidantes: Polifenoles Derivados de Amidas/Ureas," Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), 2017.

⁴¹ EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND, AGROSMARTcoop, y SUDOE INTERREG, "Incorporación de Antioxidantes de Origen Vegetal con el Objetivo de Aumentar la Vida Útil de Transformados Cárnicos," 2017.

⁴² FERNÁNDEZ-LÓPEZ J., et al., "Application of Functional Citrus by-Products to Meat Products," Trends Food Sci. Technol., vol. 15, no. 3–4, pp. 176–185, 2004, doi: 10.1016/j.tifs.2003.08.007.

⁴³ ALESON-CARBONELL L., et al., "Functional and Sensory Effects of Fibre-Rich Ingredients on Breakfast Fresh Sausages Manufacture," Food Sci. Technol. Int., vol. 11, no. 2, pp. 89–97, 2005, doi: 10.1177/1082013205052003.

⁴⁴ HERNÁNDEZ GARCÍA S. y VERA N. G., "Efecto de la Adición de Harina de Cáscara de Naranja sobre las Propiedades Físicoquímicas, Texturales y Sensoriales de Salchichas Cocidas," NACAMEH, vol. 4, no. 1, pp. 23–36, 2010.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

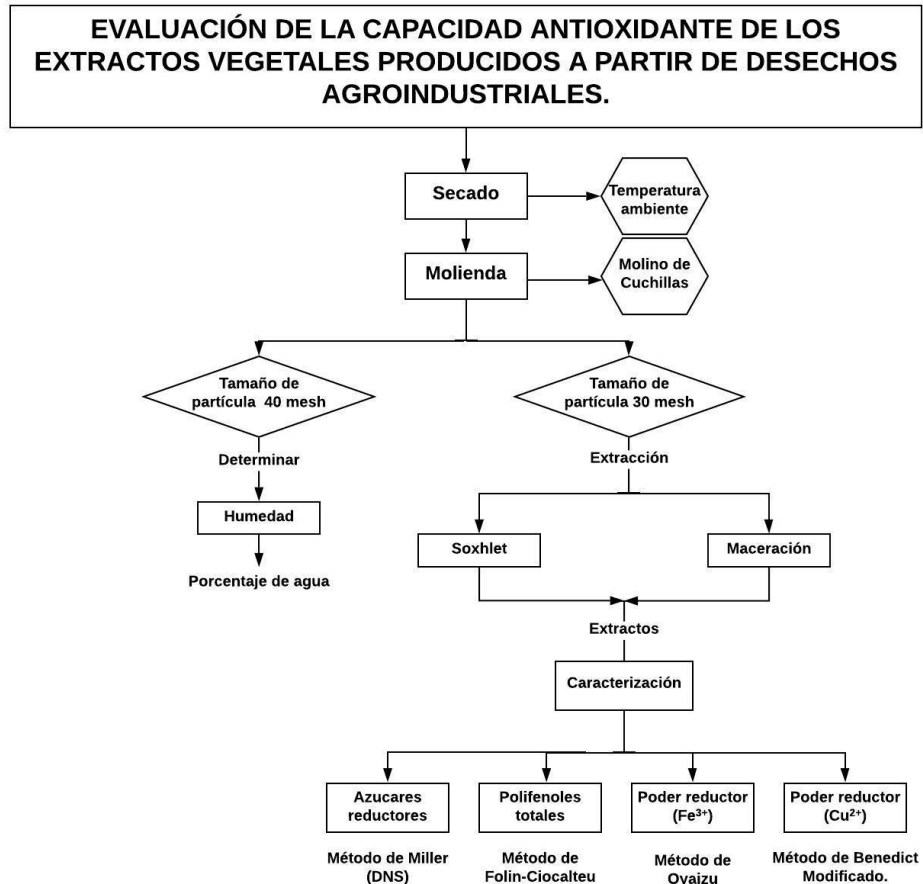
Evaluar la producción de extractos vegetales con capacidad antioxidante a partir de residuos agroindustriales generados en el departamento de Santander.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los residuos agroindustriales, provenientes del departamento de Santander, potenciales para la producción de extractos vegetales.
- Evaluar las técnicas de extracción maceración y soxhlet para producir extractos acuosos a partir de los residuos agroindustriales seleccionados.
- Determinar la concentración de azúcares reductores, contenido de polifenoles totales, poder reductor de Fe^{3+} y poder reductor de Cu^{2+} en los extractos vegetales obtenidos.

2. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Figura 1. Diseño metodológico



Fuente: Elaboración propia.

2.1. ETAPA 1: PRODUCCIÓN DE LOS EXTRACTOS ACUOSOS

La selección de los residuos agroindustriales a estudiar se determinó teniendo en cuenta los principales cultivos que se producen en la región de Santander según la Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano (AGRONET) ¹¹.

¹¹ MINISTERIO DE AGRICULTURA, "Participación Departamental en la Producción y en el Área Cosechada," AGRONET, 2020.

Se escogieron las biomásas vegetales de acuerdo con la capacidad antioxidante que poseen, considerando que estos materiales vegetales en estudios previos reportaron la presencia de compuestos antioxidantes, teniendo en cuenta que los quimiotipos de las especies cambian según la zona de cultivo.

Para escoger el material vegetal a analizar se hizo un barrido de los principales cultivos agroindustriales presentes en la zona de Santander, los cuales fueron recolectados de plazas de mercado, algunos puntos de venta de frutas de la universidad y empresas procesadores de frutas, estableciendo como muestras de estudio las cáscaras de limón, naranja, mandarina, piña, aguacate, plátano maduro, plátano verde, yuca, maíz, y semillas de mora y aguacate^{5 6 11}, teniendo en cuenta que el residuo vegetal estuviera en óptimas condiciones.

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente bajo sombra, luego se redujo el tamaño de partícula con un molino de cuchillas para alcanzar un tamaño entre 0,6 y 0,8 mm -mesh de 30-¹⁹ para ser utilizados en los procesos de extracción. Con esta técnica se obtuvieron otros tamaños de partículas, donde el tamaño de 0,4 a 0,59 mm -mesh de 40- fue usado para la determinación de humedad de las muestras⁴⁵.

2.1.1. Determinación del contenido de humedad de la muestra Se pesaron en un vaso de precipitado 2 g del material vegetal previamente secado, seguido a esto se introdujo el recipiente en el horno a 105°C por 24 h, después se llevó la muestra

⁵ GOBERNACIÓN DE SANTANDER, EVALUACIONES AGROPECUARIAS MUNICIPALES, y UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA, "Evaluaciones Agropecuarias Departamento de Santander 2016," EVA 2016, p. 133, 2016.

⁶ AGRONET - MINISTERIO DE AGRICULTURA, "Santander-Principales Cultivos por Área Sembrada en 2017", 2017.

¹¹ MINISTERIO DE AGRICULTURA, "Participación Departamental en la Producción y en el Área Cosechada," AGRONET, 2020.

¹⁹ SUKHDEV SWAMI H., et al., Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. 2008.

⁴⁵ TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, "TAPPI Standard T-12 m-45 Preparation of Wood for Chemical Analyss (Including Procedures for Removal of Extractive and Determination of Moisture Content)," in Fibrous Materials and Pulp Testing, 1959.

a un desecador por 2 h, una vez culminado el tiempo se pesó y se calculó el porcentaje de humedad usando la Ec.1⁴⁵.

$$\% \text{ de humedad} = \left(\frac{P2-P3}{P3-P1} \right) * 100\%$$

(Ec. 1)

Siendo, P1: Peso del vaso precipitado vacío (g), P2: Peso del vaso precipitado + material vegetal (g) y P3: Peso del vaso precipitado + muestra seca (g).

Las pruebas se hicieron por triplicado. Este análisis se realizó con el fin de conocer el porcentaje de humedad que retienen las muestras de cada material vegetal.

2.1.2. Técnicas de extracción para la elaboración de extractos vegetales acuosos

Se realizó la extracción de los compuestos activos de 11 desechos agroindustriales por la técnica de maceración aplicando la metodología descrita en el libro *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*¹⁹ y la extracción soxhlet según la norma establecida *ASTM D 1110-56*⁴⁶, a las cuales se realizaron algunas modificaciones.

2.1.2.1. Proceso de extracción por maceración Para la extracción por maceración se usó una relación sólido:solvente de 1:10 peso/volumen^{20,21}, es decir, 10 g de muestra con 100 ml de agua destilada, realizando previamente una prueba de hinchamiento a cada especie, la cual consta en ir agregando al soluto 5 ml de solvente cada 5 min hasta alcanzar la mayor cantidad de líquido absorbido por el material vegetal¹⁹.

¹⁹ SUKHDEV SWAMI H., *et al.*, *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*. 2008.

²⁰ SOTO-GARCÍA M. y ROSALES-CASTRO M., "Efecto del Solvente y de la Relación Masa/Solvente, Sobre la Extracción de Compuestos Fenólicos y la Capacidad Antioxidante de Extractos de Corteza de *Pinus durangensis* Y *Quercus sideroxylla*," *Maderas Cienc. y Tecnol.*, vol. 18, no. 4, pp. 701–714, 2016, doi: 10.4067/S0718-221X2016005000061.

²¹ MORAIS D. R. *et al.*, "Antioxidant Activity, Phenolics and UPLC-ESI(-)-MS of Extracts from Different Tropical Fruits Parts and Processed Peels," *Food Res. Int.*, vol. 77, pp. 392–399, 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.036.

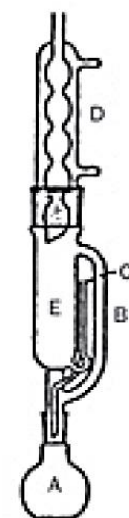
⁴⁵ TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, "TAPPI Standard T-12 m-45 Preparation of Wood for Chemical Analysis (Including Procedures for Removal of Extractive and Determination of Moisture Content)," in *Fibrous Materials and Pulp Testing*, 1959.

⁴⁶ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Extractive in Hot Water According to standard ASTM D 1110-56," in *Water and Environmental Technology*, 1977.

Para ello se colocó la mezcla heterogénea en un recipiente ámbar por 48 h en reposo. Una vez terminado ese lapso, se centrifugó a 3500 rpm por 15 min para separar el sobrenadante, almacenando el extracto en un recipiente ámbar y se congeló^{47 48}.

2.1.2.2. Proceso de extracción por soxhlet Para la extracción por soxhlet, se utilizó una relación sólido solvente de 1:10 peso/volumen, es decir, 7,5 g de la muestra con 75 ml de agua destilada. Para esto, se pesó la cantidad de muestra seca y se colocó en un papel filtro formando un cartucho, el cual se dobló de tal manera que no hubiera pérdida de materia por arrastre durante el proceso de extracción. En el balón se agregaron los 75 ml de agua destilada y perlas de vidrio para ebullición con el propósito de evitar salpicaduras. Se armó el sistema soxhlet (Fig. 2) en una manta calefactora, y se inició el registro del tiempo de extracción al comenzar a bullir el agua contenida en el balón, estos tiempos oscilaron de 2 a 7 horas según el material vegetal. El tiempo de parada se estipuló cuando el solvente tomó un color traslúcido en el cuerpo del soxhlet⁴⁹.

Figura 2.
Aparato
soxhlet



Fuente: SUKHDEV SWAMI H., et al.,
Extraction Technologies for Medicinal
and Aromatic Plants. 2008.

La temperatura de operación fue de 100 °C, garantizando que el agua pudiera cambiar de fase y una vez condensada lograra realizar sifón. El extracto obtenido se colocó en un recipiente ámbar, protegiéndolo de los rayos de luz que pueden degradar las propiedades de la muestra.

⁴⁷ SUZUKI H., VAZZOLER A. E. A. de M., y PHAN V. N., "Estudo Eletroforético de Proteínas de MúsculoEsquelético de Micropogonias Furnieri (Desmarest, 1823) da Costa SE-S do Brasil: 1. Considerações Técnicas," Bol. do Inst. Ocean., vol. 32, no. 2, pp. 153–155, 1983, doi: 10.1590/s0373-55241983000200006.

⁴⁸ TORRES-AGUIRRE G. A. et al., "Optimización de la Extracción e Identificación de Compuestos Polifenólicos en Anís (*Pimpinella anisum*), Clavo (*Syzygium aromaticum*) y Cilantro (*Coriandrum sativum*) mediante HPLC Acoplado a Espectrometría de Masas," Rev. Espec. en Ciencias Químico-Biológicas, vol. 21, no. 2, pp. 103–115, 2018, doi: 10.22201/fesz.23958723e.2018.2.4.

⁴⁹ MESA VALENCIA A. F., "Caracterización Físicoquímica y Funcional del Polen de Abejas (*Apis Mellifera*) como Estrategia para Generar Valor Agregado y Parámetros de Calidad al Producto Apícola," Univ. Nac. Colomb. Sede Medellín, p. 84, 2015.

$$\% \text{ de rendimiento de extracción} = \left(\frac{\text{SS} * \text{PTE}}{\text{PMV}} \right) * 100\%$$

(Ec. 2)

Donde, SS: g de sólido disuelto/100 g de disolución total, PTE: Peso total del extracto obtenido (g) y PMV: Peso del material vegetal (g).

Todas las extracciones se hicieron por triplicado. El rendimiento de extracción se cuantificó mediante el contenido de sólidos solubles a través de un refractómetro (en grados brix) mediante la Ec.2. Las muestras se almacenaron en un congelador para evitar la descomposición.

2.2. ETAPA 2: CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES, CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES, PODER REDUCTOR DE Fe³⁺ Y PODER REDUCTOR DE Cu²⁺ DE LOS EXTRACTOS OBTENIDOS

Los métodos que se usaron para poder llevar a cabo la cuantificación de azúcares reductores, contenido de polifenoles totales, poder reductor de Fe³⁺ y poder reductor de Cu²⁺ fueron los métodos de Miller (DNS)³⁰, Folin- Ciocalteu³³, Oyaizu⁵⁰ y Benedict modificado³⁹ respectivamente.

2.2.1. Método de Miller (DNS) para medición de azúcares reductores (AR)

Preparación del reactivo DNS: Se pesaron 0,5 g de ácido 3,5-dinitrosalicílico, 0,1 g de fenol, 0,025 g de sulfito de sodio anhidro y 0,5 g de hidróxido de sodio, se disolvieron en 40 ml de agua destilada en constante agitación. Se ajustó el volumen

³⁰ MILLER G. L., "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar," Anal. Chem., vol. 31, no. 3, pp. 426–428, 1959.

³³ GARCÍA E., FERNÁNDEZ I., y FUENTES A., "Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu," Univ. Politéc. Val. Dep. Tecnol. Aliment., p. 9, 2010, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/GarciaMart?nezetal.pdf?sequence=1>.

³⁹ BYJU'S The Learning App, "Benedict's Test," 2020. <https://byjus.com/chemistry/benedicts-test/>.

⁵⁰ OYAIZU M., "Studies on Products of Browning Reaction. Antioxidative Activities of Products of Browning Reaction Prepared from Glucosamine.," Japanese J. Nutr. Diet., vol. 44, no. 6, pp. 307–315, 1986, doi: 10.5264/eiyogakuzashi.44.307.

con agua destilada a 50 ml, para luego almacenarlo en un envase ámbar a temperatura ambiente.

Preparación Sal de Rochelle 40% p/v: Se pesaron 20 g de tartrato de sodio potasio y se disolvieron en 30 ml de agua destilada sobre una plancha con calentamiento y agitación constante, después se aforó el volumen con agua destilada a 50 ml, y se almacenó a temperatura ambiente.

La curva de calibración se realizó con una solución patrón de glucosa en agua con concentración de 10 mg glucosa/ml. Partiendo de la solución patrón, se prepararon diluciones entre 1,54 y 8 mg glucosa/ml. Cada punto de la curva se hizo por triplicado.

Para la medición del contenido de AR, se prepararon soluciones en tubos de ensayo conteniendo 81,25 μ l de la muestra las cuales fueron precalentadas por 5 min a 40°C, después se adicionaron 243,7 μ l del reactivo DNS a cada muestra y se llevaron a un baño de agua hirviendo durante 5 min. Posteriormente se agregaron 325 μ l de sal de Rochelle y 5850 μ l de agua destilada, dejándose enfriar en un baño de agua helada durante 1 min. Las muestras fueron analizadas en celdas de plástico con un espectrofotómetro visible HACH DR 3900 midiendo la absorbancia a 540 nm³⁰.

2.2.2. Método de Folin-Ciocalteu para la cuantificación de contenido de polifenoles totales (CPT) La curva de calibración se desarrolló con una solución acuosa de ácido gálico a una concentración de 2 mg/ml. A partir de la solución patrón, se prepararon diluciones entre 0,05 y 0,5 mg ácido gálico/ml. Cada punto de la curva se realizó por triplicado.

³⁰ MILLER G. L., "Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar," Anal. Chem., vol. 31, no. 3, pp. 426–428, 1959.

En un tubo de ensayo se añadió 100 µl de la muestra y 3000 µl de la solución de Folin-Ciocalteu siendo tapado y agitado por 10 s en un agitador vortex. Posteriormente se dejó en oscuridad y reposo durante 5 min. Se adicionó 3000 µl de solución de Na₂CO₃ al 7,5% peso/volumen, agitándolo nuevamente en vortex por 10 s. Se almacenó durante 1 h en condiciones de oscuridad. La absorbancia de cada sustancia fue medida en un espectrofotómetro visible HACH DR 3900 a 765 nm³³.

2.2.3. Método de Oyaizu para la determinación del poder reductor de Fe³⁺ La curva de calibración se preparó usando una solución acuosa de ácido gálico a una concentración de 0,1 mg/ml. A partir de la solución patrón, se prepararon diluciones entre 0,001 y 0,100 mg ácido gálico/ml. Cada punto de la curva se realizó por triplicado⁵¹.

Para analizar el poder reductor se tomaron 1182 µL de cada muestra y se mezclaron con 2955 µL de buffer de fosfato potásico 0,2 M a pH 6,6 (21,77 g fosfato monopotásico y 6,96 g fosfato dipotásico en 1 L de agua destilada). A esto se le agregó 2955 µL de ferricianuro de potasio [Fe (CN)₆ K₃] al 1% g/ml solución. La mezcla se incubó a 50°C por 20 min. Luego se agregó 2955 µL de ácido tricloroacético al 10% g/ml solución en la mezcla y se centrifugó a 3000 rpm por 10 minutos. Del sobrenadante de la solución se tomaron 2955 µL, adicionando 2955 µL de agua destilada y 591 µL de cloruro férrico [Cl₃Fe] al 0,1% g/ml solución.

³³ GARCÍA E., FERNÁNDEZ I., y FUENTES A., "Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu," Univ. Politec. Val. Dep. Technol. Aliment., p. 9, 2010, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/GarciaMart?nezetal.pdf?sequence=1>.

⁵¹ MURILLO PEREA E., et al., "Actividad Antioxidante in Vitro y Antimicrobial de Extractos Metanólicos de Cuatro Albahacas Cultivadas en Ibagué," Tumbaga, vol. 1, no. 2, p. 2, 2007.

La absorbancia se midió en un espectrofotómetro visible HACH DR 3900 a 700 nm, empleando celdas plásticas. Una mayor lectura en la absorbancia de la mezcla de reacción, indica un mayor poder reductor^{50 52}.

2.2.4. Método de Benedict modificado para la determinación del poder reductor de Cu²⁺ Para la preparación del reactivo de Benedict se tomó 100 g de Carbonato anhidrido de sodio, 173 g de Citrato de sodio y 17,3 g de Sulfato de cobre pentahidratado, los cuales fueron disueltos en 1 L de agua destilada. Se llevó la solución a pH entre 11 y 12, agregando NaOH al 50% g/ml solución, ya que la reacción se da en medio alcalino. Se adicionó en una celda el reactivo de Benedict para realizar un barrido a diferentes longitudes de onda y observando el máximo de absorbancia se determinó la longitud de onda a trabajar.

La curva de calibración se elaboró con el reactivo de Benedict a una concentración de 17,128 g sulfato de cobre/L, preparando diluciones entre 6,89 y 0,22 g sulfato de cobre /L. Cada punto de la curva se hizo por duplicado.

En la prueba de actividad reductora se agregó 1,8 ml del reactivo de Benedict y 4,2 ml de extracto en un tubo de ensayo. Se calentó la solución a 100°C por 4 min, asimismo, se llevó a choque térmico con agua fría por 4 min. Se centrifugó a 4500 rpm por 25 min para luego medir la absorbancia en un espectrofotómetro visible HACH DR 3900 a 740 nm, empleado celdas plásticas³⁹. Con la absorbancia obtenida se halla la concentración final de CuSO₄ en la muestra. A partir de la diferencia de la concentración de CuSO₄ inicial del reactivo de Benedict y la concentración final de la muestra se calculan los gramos CuSO₄ reducidos. Con la Ec. 3 se evalúa la capacidad de reducción del ion cúprico.

³⁹ BYJU'S The Learning App, "Benedict's Test," 2020. <https://byjus.com/chemistry/benedicts-test/>.

⁵⁰ OYAIZU M., "Studies on Products of Browning Reaction. Antioxidative Activities of Products of Browning Reaction Prepared from Glucosamine.," Japanese J. Nutr. Diet., vol. 44, no. 6, pp. 307–315, 1986, doi: 10.5264/eiyogakuzashi.44.307.

⁵² YEN G. H. y CHEN H. Y., "Antioxidant Activity of Various Tea Extracts in Relation to their Antimutagenicity.," J. Agric. Food Chem., vol. 43, pp. 27–32, 1995.

$$\text{Capacidad de reducción Cu}^{2+} = \frac{\text{g CuSO}_4 \text{ reducidos}}{\text{g Extracto}}$$

(Ec. 3)

2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño de experimentos de un solo factor, para observar el efecto del método de extracción (maceración y soxhlet), y por consiguiente la temperatura durante el proceso. Todas las muestras se realizaron por triplicado y se reportaron los diferentes parámetros como la media \pm desviación estándar. Se aplicó el modelo estadístico *t de student* a los datos para determinar las diferencias significativas entre técnicas de extracción ($p < 0,05$). Para el análisis estadístico se utilizó la herramienta MINITAB 19.2020.1.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los desechos agroindustriales para este estudio fueron escogidos bajo parámetros, como la cantidad de producción de las especies de frutas y verduras en el departamento de Santander. Seguido a esto, los compuestos antioxidantes como azúcares reductores y polifenoles totales, y la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos presentes en cada desecho reportados en estudios previos. De esta manera, se seleccionaron las especies que se pueden detallar en la tabla 1.

Tabla 1. Selección de residuos agroindustriales potenciales

ESPECIE	PRODUCCIÓN (t/año)*	RESIDUO	ANÁLISIS	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	RELACIÓN (Solutivo:Solvente)	SOLVENTE	RESULTADO	AUTOR
Limón (Citrus aurantifolia)	2.006.179	Cáscara	CPT	Maceración	1:20	80:20 Metanol:Agua	0,96 (g EAG/100 g muestra)	Ordoñez Gómez, <i>et al.</i>
			FRAP	Maceración	1:9	Agua	2,30 (mmol/100 g peso húmedo)	Changjiang Guo, <i>et al.</i>
Mandarina (Citrus reticulata)	13.549.521	Cáscara	CPT	Maceración	1:20	80:20 Metanol:Agua	3,22 (g EAG/100 g muestra)	Ordoñez Gómez, <i>et al.</i>
			FRAP	Maceración	1:9	Agua	5,44 (mmol/100 g peso húmedo)	Changjiang Guo, <i>et al.</i>
Naranja (Citrus sinensis)	15.236.331	Cáscara	AR	Soxhlet	1:9	Agua	373 (mg glucosa/g extracto)	Zapata Zapata, <i>et al.</i>
			FRAP	Maceración	1:9	Agua	5,69 (mmol/100 g peso húmedo)	Changjiang Guo, <i>et al.</i>
Plátano (Musa paradisiaca)	20.925.300	Cáscara	CPT	Decocción	1:20	Agua	55,43* - 18,82** (mg EAG/ g extracto)	Sumitra Chanda, <i>et al.</i>
			FRAP	Decocción	1:20	Agua	9,02* - 13,18** (mol FeSO ₄ / g extracto)	
Piña (Ananas comosus)	65.620.929	Cáscara	CPT	Soxhlet	1:6	metanol	31,98 (mg EAG/g extracto)	Ti Li, <i>et al.</i>
			FRAP	Maceración	1:9	Agua	2,01 (mmol/100 g peso húmedo)	Changjiang Guo, <i>et al.</i>
Maíz (Zea mays)	1.610.013	Cáscara	CPT	Ultrasonido	1:50	Agua	160 (mg EAG/g material seco)	Jianwei Dong, <i>et al.</i>
			FRAP	Ultrasonido	1:50	Agua	2,1 (µM Fe(II)/ g muestra seca)	
Yuca (Manihot esculenta)	14.868.782	Cáscara	AR	Maceración	1:4	Agua	0,231 (g Glucosa/l solución)	Mohammad Javad, <i>et al.</i>
			CPT	Maceración	1:4	Agua	19 (mg EAG/l solución)	
			FRAP	Maceración	1:10000	Metanol	2,88 (mMFE/ g muestra)	Dusuki, <i>et al.</i>
Aguacate (Persea americana)	3.902.234	Semilla	CPT	Maceración	4:5	80:20 Metanol:Agua	328,8 (mg EAG/g extracto seco)	Rosero, <i>et al.</i>
		Cáscara	CPT	Maceración	4:5	80:20 Metanol:Agua	527,8 (mg EAG/g extracto seco)	
		Semilla	FRAP	Maceración	1:10	Metanol	23,71 (µmol FeSO ₄ /g peso seco)	Morais, <i>et al.</i>
		Cáscara	FRAP	Maceración	1:10	Metanol	27,82 (µmol FeSO ₄ /g peso seco)	
Mora (Rubus glaucus)	4.308.206	Semilla	CPT	Maceración	1:8	Etanol	38,00 (mg EAG/g extracto seco)	Sajeda Begam, <i>et al.</i>
			PRFe ³⁺	Maceración	1:8	Etanol	250 (µg EAG/ml solución)	
			ABTS	Soxhlet	1:32	Etanol	95,70 (µmol TE/g extracto)	Pasquel, <i>et al.</i>

*Mayor producción en el departamento de Santander. AR: Azúcares reductores, CPT: Contenido de polifenoles totales, PRFe³⁺: Capacidad antioxidante para reducir el ión férrico, FRAP: Poder férrico reductor antioxidante, EAG: Equivalente de ácido gálico, TE: Trolox equivalente, *material vegetal maduro, ** material vegetal no maduro

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo A se muestran las diferencias significativas entre las técnicas de extracción, sólidos solubles totales, rendimientos de extracción, azúcares reductores, contenido de polifenoles totales, poder reductor de Fe^{3+} y Cu^{2+} , para cada una de las especies evaluadas en cada variable de estudio.

Se determinó la diferencia de media con nivel de significancia ($p < 0,05$) entre las técnicas de extracción maceración y soxhlet para cada prueba de caracterización de los 11 materiales vegetales aplicando el modelo *t de student*, teniendo en cuenta que se trabajó con tamaño de muestras pequeñas, las cuales no presentaron distribución normal.

El porcentaje de humedad de los materiales vegetales (ver Anexo A) que se analizaron osciló entre 10,07% y 24,39%, siendo la semilla de la mora el residuo menos húmedo y la cáscara de plátano maduro el más húmedo entre los materiales vegetales secados previamente a condiciones ambiente. El contenido de humedad afecta a la capacidad de procesamiento, al período de conservación, a la usabilidad y a la calidad del producto⁵³. En el caso de la cáscara de aguacate en el presente estudio se reportó 12,91%; en estudios previos se reporta 9,10%²³. Asimismo, el contenido de humedad en la cáscara de mandarina es de 16,15%, similar a estudios anteriores que reportan una humedad de 12,57%⁵⁴.

En la figura 3 se pueden ver los rendimientos de extracción que se alcanzaron para cada especie vegetal según el método de extracción, los mayores rendimientos se lograron por la técnica soxhlet. El rendimiento de los 11 residuos agroindustriales

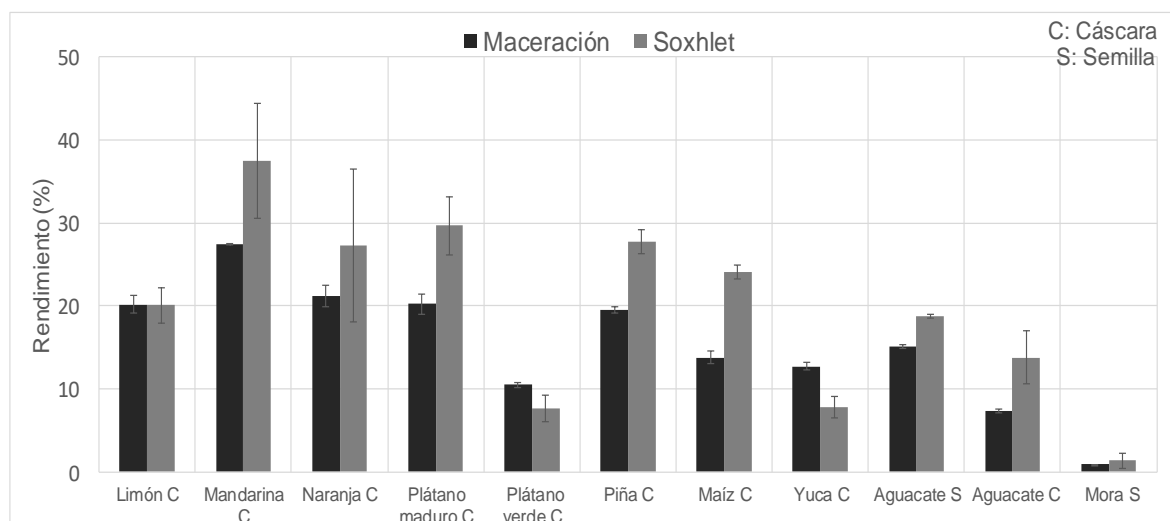
²³ AYMACAÑA ALBÁN A. E., "Caracterización Bromatológica de la Cáscara de Aguacate (*Persea Americana*) y Posterior Extracción e Identificación de la Fracción con Mayor Actividad Antimicrobiana y Antioxidante.," 2018.

⁵³ METTLER TOLEDO, "Determinación del Contenido de Humedad," Aplicaciones pesaje en el laboratorio, 2020. https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory_weighing/moisture-content-determination.html#overviewaf.

⁵⁴ GUTIÉRREZ E. y PASCUAL G., "Caracterización de Cáscara de Mandarina (*Citrus Reticulata*) en Polvo e Inclusión en una Formulación Panaria," *Agron. Colomb. Supl.*, vol. 1, no. October, pp. S5–S8, 2016, doi: 10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.57938.

se encuentra en un rango de 0,89% y 37,47%, arrojando la cáscara mandarina como la de mayor cantidad de sólidos solubles.

Figura 3. Porcentaje de rendimiento de las extracciones acuosas por los métodos de maceración y soxhlet para los diversos materiales vegetales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.



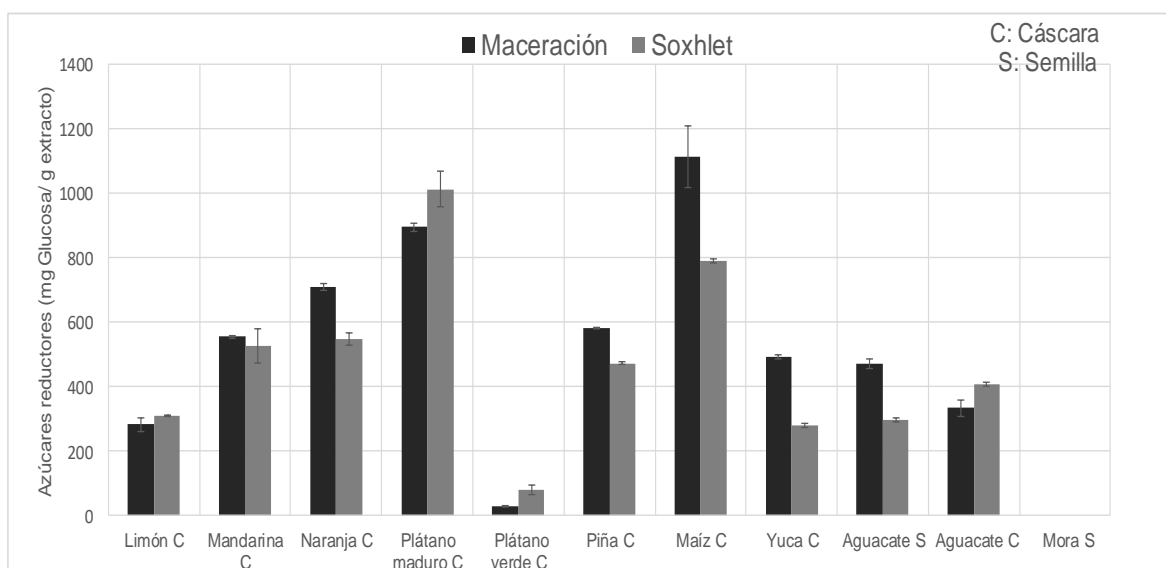
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al contenido de azúcares reductores se observa en la figura 4, que la mayor concentración la presenta la cáscara de maíz (por maceración) de 1115,48 mg glucosa/g de extracto. Por otra parte, especies como la cáscara de naranja y limón (por maceración) presentaron un contenido de 709,54 mg glucosa/g de extracto (con rendimiento de 21,20%) y 282,18 mg glucosa/g de extracto (con rendimiento de 20,14%) respectivamente. Guimarães, Rafaela, et al.³¹ reportó que, al utilizar metanol como solvente durante la extracción de la cáscara de la naranja, se consiguió un rendimiento de 37,27% con un contenido de azúcares reductores de 358,93 mg glucosa/g de extracto y la cáscara de limón presentó un rendimiento de 44,68 % con un contenido de azúcares reductores de 291,26 mg glucosa/g de extracto. Por lo anterior, cabe resaltar que este estudio alcanzó mayores

³¹ GUIMARÃES R., et al., "Targeting Excessive Free Radicals with Peels and Juices of Citrus Fruits: Grapefruit, Lemon, Lime and Orange," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 48, no. 1, pp. 99–106, 2010, doi: 10.1016/j.fct.2009.09.022.

concentraciones de azúcares reductores con menores porcentajes de rendimiento de extracción; a pesar de que la extracción soxhlet obtuvo mejores rendimientos, para la cuantificación de azúcares reductores de forma general se obtienen mejores concentraciones por el método de maceración, ya que al trabajar con temperatura ambiente posiblemente se evita la degradación de los componentes.

Figura 4. Contenido de azúcares reductores en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) \pm desviación estándar.



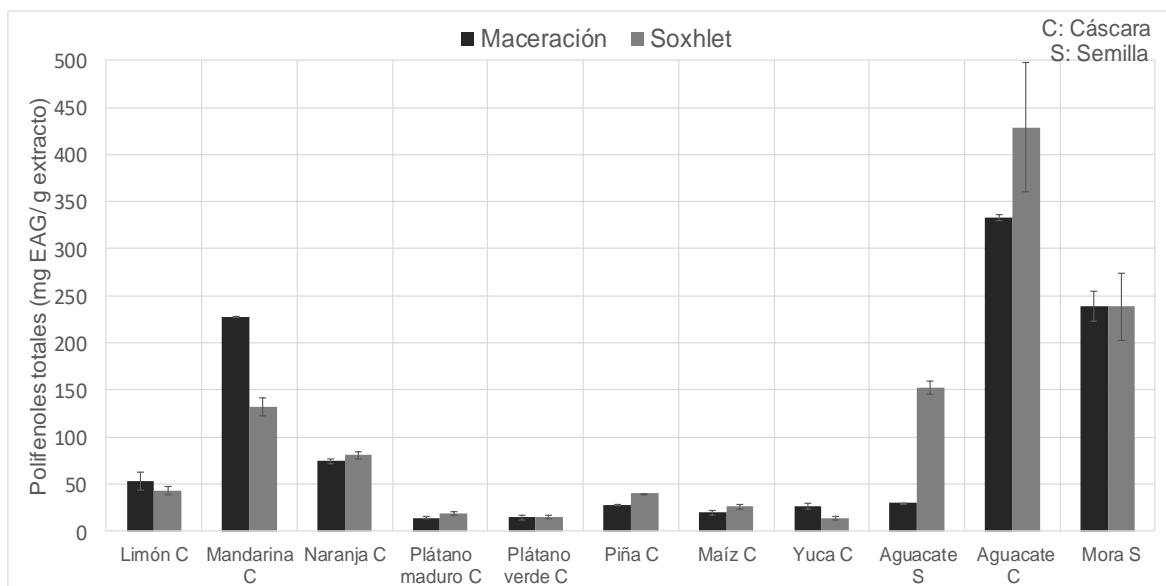
Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo B se muestra la prueba de hipótesis realizada para determinar las diferencias significativas entre los métodos de extracción relacionado con la cuantificación de azúcares reductores. Las especies con diferencias significativas entre los métodos de extracción fueron la cáscara de naranja, plátano verde, piña, maíz, yuca, aguacate y semilla de aguacate.

Los resultados de la cuantificación del contenido de polifenoles totales se observan en la figura 5, donde el aguacate es la especie que presenta mayor concentración de compuestos polifenólicos con valores en la cáscara y semilla (soxhlet) de 428,59

y 152,52 mg equivalente de ácido gálico/g extracto en la cáscara y semilla (por extracción soxhlet), respectivamente, evidenciando que la cáscara posee mayor contenido de polifenoles totales que la semilla. Esta información concuerda, con el estudio realizado por Rosero *et al.*⁵⁵ donde reportan (maceración) valores de 527,8 mg equivalente de ácido gálico/g extracto para la cáscara y de 328,8 mg equivalente de ácido gálico/g extracto para la semilla utilizando como solvente metanol acuoso al 80%.

Figura 5. Contenido de polifenoles totales en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que la mayor proporción del contenido de polifenoles totales en el aguacate posiblemente se deba a la presencia de catequinas, ácidos

⁵⁵ ROSERO J. C., et al., "Analysis of Phenolic Composition of Byproducts (Seeds and Peels) of Avocado (*Persea americana* Mill.) Cultivated in Colombia," *Molecules*, vol. 24, no. 3209, 2019.

hidroxicinámicos y procianidinas, tal como se muestra en el estudio del perfil fenólico de las partes del aguacate que reporta Rodríguez *et al.*⁵⁶.

De manera semejante sucede con las semillas de la mora, donde por medio de extracción soxhlet se obtuvo 238,38 mg equivalente de ácido gálico/g extracto, donde el potencial antioxidante se atribuye a las proantocianidinas, principalmente a las procianidinas B2 y B4⁵⁷. Además, la mora presenta elagitaninos que son taninos hidrolizables que presentan capacidad antioxidante, los cuales se encuentran en mayor abundancia en la semilla⁵⁸.

La producción de extracto a partir de cáscara de yuca por maceración presentó un contenido de 26,29 mg equivalente de ácido gálico/g extracto. En el estudio previo de Mohammad *et al.*⁵⁹ se reportó que el extracto de cáscara de yuca obtenido por maceración con agua a una relación soluto:solvente de 1:5 reportó alrededor de 19 mg equivalente de ácido gálico/g extracto. En cuanto al extracto de cáscara de piña producido mediante extracción soxhlet alcanzó 39,82 mg equivalente de ácido gálico/g extracto con un rendimiento de 27,66%, un poco más alto que el reportado por Li. *et al.*⁶⁰ donde obtienen un extracto a partir de cáscara de piña por extracción soxhlet con metanol, de 31,98 mg equivalente de ácido gálico/g extracto con 24,95% de rendimiento, quienes afirman que el contenido polifenólico está constituido en mayor relación por las catequinas y las epicatequinas.

En el Anexo C se muestra la prueba de hipótesis realizada para determinar las diferencias significativas entre los métodos de extracción en cuanto a su contenido

⁵⁶ RODRÍGUEZ-CARPENA J. G., et al., "Avocado (*Persea americana* Mill.) Phenolics, In Vitro Antioxidant and Antimicrobial Activities, and Inhibition of Lipid and Protein Oxidation in Porcine Patties," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 59, no. 10, pp. 5625–5635, 2011, doi: 10.1021/jf1048832.

⁵⁷ AYOUB M., "Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Blackberry, Black raspberry and Blueberry Seed Meals," 2015.

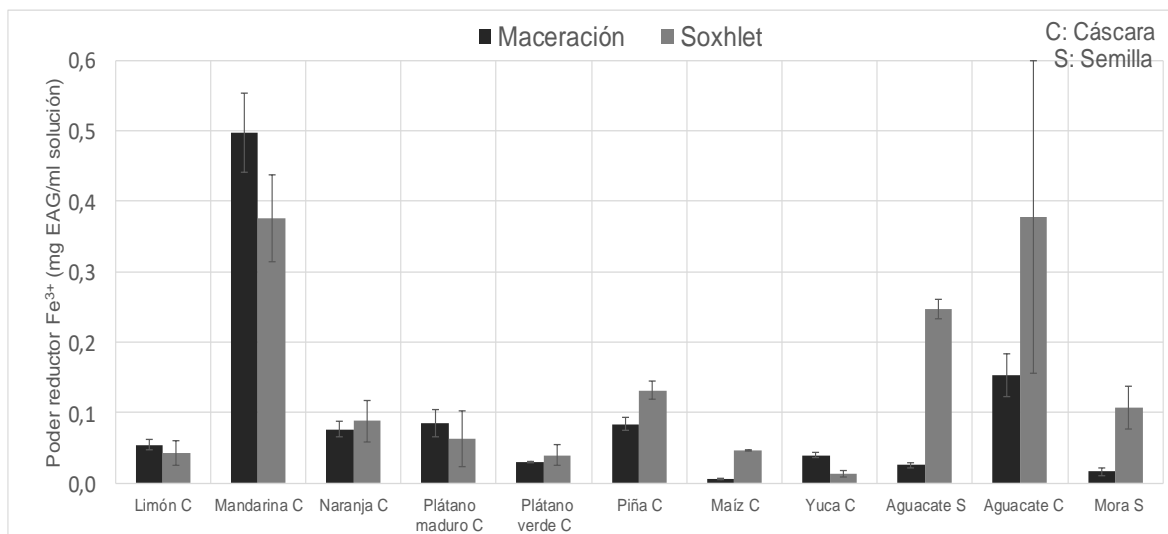
⁵⁸ HAGER T. J., et al., "Ellagitannin composition of blackberry as determined by HPLC-ESI-MS and MALDI-TOF-MS," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, no. 3, pp. 661–669, 2008, doi: 10.1021/jf071990b.

⁵⁹ MOHAMMAD M., SEYED Z., y SUDHAKAR M., "Free Radical Scavenging and Antioxidant Activity of Cassava Plants," *Asian J Pharm Clin Res*, vol. 7, no. 1, pp. 66–70, 2014, doi: 10.1007/978-1-4615-1833-4_25.

⁶⁰ LI T. et al., "Major Polyphenolics in Pineapple Peels and their Antioxidant Interactions," *Int. J. Food Prop.*, vol. 17, no. 8, pp. 1805–1817, 2014, doi: 10.1080/10942912.2012.732168.

en polifenoles totales. En este sentido, las especies con diferencias significativas entre métodos de extracción fueron las cáscaras de mandarina, plátano maduro, piña, maíz, yuca y semilla de aguacate. Como se puede observar en la figura 5, el contenido de polifenoles totales en general aumenta cuando se utiliza soxhlet como técnica de extracción debido a la obtención de mayores compuestos antioxidantes, ya que en este método se alcanzan mayores rendimientos de extracción. Algunos autores afirman que esto podría deberse a que la temperatura y el tiempo son factores claves en el proceso de extracción, afectando tanto la eficiencia como los componentes obtenidos⁶¹.

Figura 6. Poder reductor del Fe³⁺ en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) ± desviación estándar.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se observa el poder reductor de Fe³⁺ en mg equivalente de ácido gálico/ml solución para los 11 residuos agroindustriales. Para la cuantificación de poder reductor de Fe³⁺, usualmente se obtienen mayores concentraciones en los

⁶¹ LI Z., et al., "Optimization on Anthocyanins Extraction from Wine Grape Skins Using Orthogonal Test Design," Food Sci. Biotechnol., vol. 19, no. 4, pp. 1047–1053, 2010, doi: 10.1007/s10068-010-0147-2.

extractos obtenidos por el método de soxhlet. Como puede observarse, el extracto de cáscara de mandarina obtenido por maceración arrojó el mayor resultado con un valor de 0,49 mg equivalente de ácido gálico/ml solución; cabe resaltar que tanto la cáscara de mandarina como la cáscara de aguacate poseen un alto poder reductor de Fe³⁺. En efecto, estudios previos reportan que la mandarina tiene niveles más altos de carotenos al igual que el aguacate, siendo posiblemente estos los responsables de la capacidad antioxidante en el ion férrico^{62 63}.

Los extractos a partir de la cáscara de limón y naranja (obtenidos por maceración) arrojaron 0,054 y 0,077 mg equivalente de ácido gálico/ml solución respectivamente. En una investigación previa realizada por Guimarães *et al.*³¹ determinaron en el extracto de cáscara de limón 0,43 mg equivalente de ácido gálico/ml solución con un rendimiento de 44,68%, mientras que el extractor de la cáscara de naranja 0,53 mg equivalente de ácido gálico/ml solución con un rendimiento de 37,27% utilizando metanol como solvente mediante hidrodestilación. Así mismo, el extracto de la semilla de mora (obtenido por maceración) presentó 0,016 mg equivalente de ácido gálico/ml solución, mientras que Begam *et al.*⁶⁴ reporta una concentración de 0,25 mg equivalente de ácido gálico/ml solución utilizando etanol como solvente y obteniendo un rendimiento de 4,28%, evidenciando que la actividad antioxidante es mayor en extractos alcohólicos⁶⁵.

En el Anexo D se muestra la prueba de hipótesis realizada para determinar las diferencias significativas entre los métodos de extracción en cuento a la

³¹ GUIMARÃES R., *et al.*, "Targeting Excessive Free Radicals with Peels and Juices of Citrus Fruits: Grapefruit, Lemon, Lime and Orange," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 48, no. 1, pp. 99–106, 2010, doi: 10.1016/j.fct.2009.09.022.

⁶² ESCOBAR M., "Extracción de Compuestos Fenólicos de las Cáscaras de Cítricos Producidos en México," 2010.

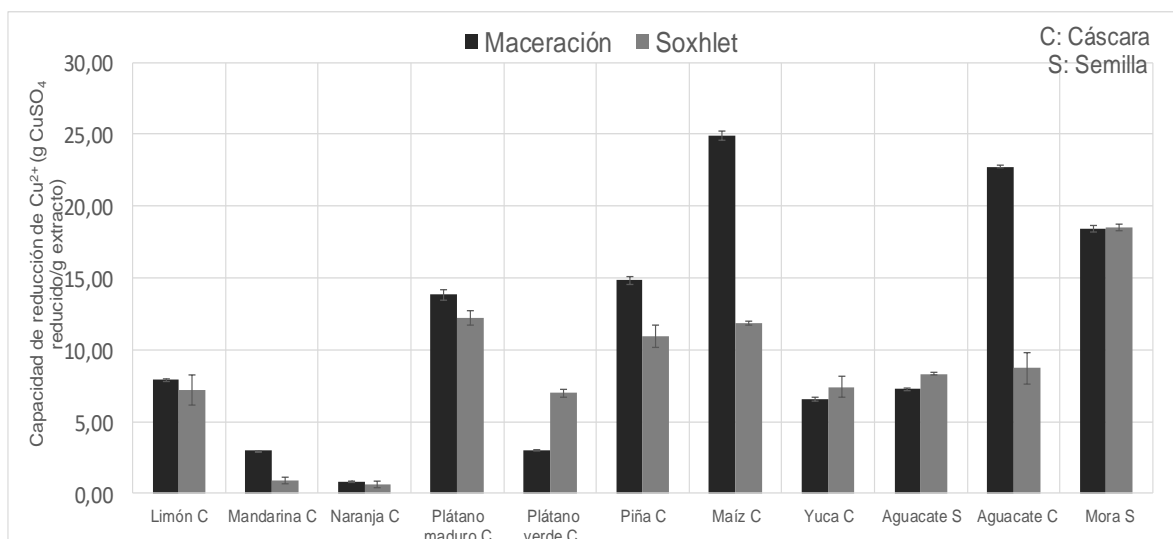
⁶³ VIDARTE HURTADO R. del Milagro y ROBLES ORTIZ L. S., "Componentes Fitoquímicos y Capacidad Antioxidante de Cáscaras de Frutas de Mayor Consumo en el Perú," 2018.

⁶⁴ BEGAM S., *et al.*, "Assessment of Bioactive Activity of Blackberry Seed Extract," *Vol. Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. 2, no. 5, pp. 1597–1605, 2018.

⁶⁵ CABRERA NAVARRO S. A., SANDOVAL ALDANA A. P., y FORERO LONGAS F., "Potencial Antioxidante y Antimicrobiano de Extractos Acuósos e Hidroalcohólicos de Granadilla (*Passiflora Ligularis*)," *Acta Agron.*, vol. 63, no. 3, pp. 204–211, 2014.

cuantificación de poder reductor de Fe^{3+} . Las especies que tienen diferencias significativas entre los métodos de extracción fueron las cáscaras de piña, maíz, yuca y semilla de aguacate y mora.

Figura 7. Poder reductor del Cu^{2+} en extractos acuosos de residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio ($n=3$) \pm desviación estándar.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7 se pueden ver los resultados de la prueba de poder reductor de Cu^{2+} obtenida por el método de Benedict modificado, donde se observa que los extractos producidos por maceración presentan el mayor poder reductor. El extracto de cáscara de maíz presentó el mayor valor con un contenido de 24,87 (g CuSO_4 reducido/g extracto) mediante maceración, posiblemente debido a que el material vegetal contiene una gran cantidad de antocianinas, principalmente cianidina-3-(6"-malonilglucósido), pelargonidina-3-(6"-malonilglucósido) y peonidina-3-(6"-malonilglucósido)⁶⁶.

²⁴ PASQUEL REÁTEGUI J. L., *et al.*, "Extraction of Antioxidant Compounds from Blackberry (*Rubus* sp.) Bagasse Using Supercritical CO₂ Assisted by Ultrasound," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 94, pp. 223–233, 2014, doi: 10.1016/j.supflu.2014.07.019.

⁶⁶ FERNANDEZ-AULIS F., *et al.*, "Extraction and Identification of Anthocyanins in Corn Cob and Corn Husk from Cacahuacintle Maize," *J. Food Sci.*, vol. 84, no. 5, pp. 954–962, 2019, doi: 10.1111/1750-3841.14589.

Hay que mencionar, además, que el extracto de semilla de mora obtenido por maceración tiene 18,43 (g CuSO₄ reducido/g extracto), atribuyendo probablemente este comportamiento a las antocianinas como cianidina 3-O-glucósido y cianidina 3-O-rutinósido²⁴. En estudios previos se analizaron otros métodos de reducción del ion cúprico, donde hay concordancia de la información con esta investigación respecto a la cáscara de aguacate, la cual posee mayor capacidad antioxidante que la cáscara de los cítricos, como se muestra en esta caracterización⁶³.

En el Anexo E se muestra la prueba de hipótesis realizada para determinar las diferencias significativas entre métodos de extracción en la cuantificación de poder reductor de Cu²⁺, la especies con diferencias significativas entre métodos de extracción fueron las cáscaras de mandarina, plátano maduro, plátano verde, piña, maíz, aguacate y semilla de aguacate; siendo de manera general la extracción por maceración la que extrae mayores compuestos antioxidantes. Esta técnica de extracción no obtuvo los mejores rendimientos, sin embargo, fue la que mayor poder reductor del Cu²⁺ alcanzó; probablemente porque la extracción soxhlet al desarrollarse a altas temperatura puede generar la degradación de estos componentes.

Tabla 2. Correlación de Pearson entre capacidades y compuestos antioxidantes.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN*	AR	CPT	PR Fe ³⁺	PR Cu ²⁺
AR	1	-0,320	0,014	0,128
CPT	-	1	0,623	0,211
PR Fe ³⁺	-	-	1	-0,292
PR Cu ²⁺	-	-	-	1

*Coeficiente de correlación de pearson. AR: Azúcares reductores, CPT: Contenido de polifenoles totales, PR Fe³⁺: Poder reductor de Fe³⁺ y PR Cu²⁺: Poder reductor de

Fuente: Elaboración propia.

⁶³ VIDARTE HURTADO R. del Milagro y ROBLES ORTIZ L. S., "Componentes Fitoquímicos y Capacidad Antioxidante de Cáscaras de Frutas de Mayor Consumo en el Perú," 2018.

En los Anexos F y G se pueden observar los parámetros con los que se determinó la existencia de correlaciones los compuestos y actividades antioxidantes.

Se encontró que existe una correlación positiva (Pearson $r=0,623$) entre el contenido de polifenoles totales de los extractos y el poder reductor de Fe^{3+} , ya que al aumentar los compuestos polifenólicos aumenta la capacidad de reducir el ion férrico.

Se determinó la capacidad antioxidante a partir del poder de reducción del ion férrico, no obstante, es indispensable evaluar que otras propiedades de los extractos están afectando dicha capacidad, ya que no solo depende del contenido de polifenoles totales que se encuentran en la especie. Por lo anterior se requiere desarrollar otras técnicas para evaluar las propiedades que estos contengan, posiblemente otras familias de compuestos que influyan de manera directa la reducción del metal, las cuales no son cuantificadas y/o identificadas en este trabajo. Es necesario recalcar que el poder reductor de Fe^{3+} aumenta a mayor concentración de extracto obtenido, viéndose reflejado en las técnicas de extracción soxhlet, las cuales obtuvieron rendimientos más altos, presentando una correlación estadísticamente significativa entre los compuestos polifenólicos totales y el poder reductor de Fe^{3+} ⁶⁷.

Finalmente, sería conveniente utilizar residuos agroindustriales como la cáscara de mandarina, y la cáscara y semilla de aguacate, para la producción de extractos acuosos mediante la técnica de extracción soxhlet ya que presentan un alto poder reductor del ion férrico.

⁶⁷ YILDIRIM A., MAVI A., y KARA A. A., "Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities of Rumex Crispus L. Extracts," J. Agric. Food Chem., vol. 49, no. 8, pp. 4083–4089, 2001, doi: 10.1021/jf0103572.

4. CONCLUSIONES

Los desechos agroindustriales para este estudio fueron escogidos de acuerdo con la mayor cantidad de producción de las especies de frutas y verduras en el departamento de Santander, al igual que la capacidad y compuestos antioxidantes presentes en cada desecho reportados en estudios previos. De esta manera se seleccionaron como materiales vegetales para este estudio los residuos agroindustriales de cáscaras de limón, mandarina, naranja, plátano, piña, maíz, yuca y aguacate, como los residuos de semillas de mora y aguacate.

En el caso de la cuantificación de azúcares reductores se encontró que los mejores extractos fueron la cáscara de maíz que presentó 1115,48 mg glucosa/g extracto (por maceración) y el plátano maduro con 1012,39 mg glucosa/g extracto (por soxhlet). En el caso de contenido de polifenoles totales la especie que más concentración obtuvo fue el extracto de cáscara de aguacate obtenido por soxhlet y maceración, con 428,59 mg equivalente de ácido gálico/g extracto y 340 mg equivalente de ácido gálico/g extracto, respectivamente. En la evaluación del poder reductor de Fe^{3+} el extracto de la cáscara de mandarina, por maceración, obtuvo el mayor valor con 0,50 mg equivalente de ácido gálico/ml solución. Finalmente, el material vegetal que redujo la mayor cantidad de ion cúprico, y por consiguiente se obtiene el mayor poder reductor de Cu^{2+} , fue el extracto de cáscara de maíz, obtenido por maceración, con 24,87 g $CuSO_4$ reducidos/g extracto.

Al evaluar las técnicas de extracción por maceración y soxhlet, para la producción de extractos acuosos a partir de los residuos agroindustriales, se puede observar que, dependiendo del material vegetal analizado, pueden obtenerse distintos valores de poder reductor de Fe^{3+} y Cu^{2+} , al igual que distintas concentraciones de azúcares reductores y polifenoles totales. Tras el análisis estadístico, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los métodos de extracción.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una caracterización de cada extracto por medio de una técnica cuantitativa como HPLC acoplado a masas para identificar los componentes bioactivos que se encuentran presentes en los extractos de las cáscaras, determinando así un perfil más completo en la distribución de los compuestos.

Se sugiere realizar las extracciones de los materiales vegetales con otros tipos de solventes, principalmente hidroalcohólicos, analizando el rendimiento de extracción obtenido y los posibles compuestos antioxidantes que podrían solubilizar.

Se propone desarrollar diferentes técnicas de extracción en las que se evalúen otras condiciones como la presión, agitación, tamaño de partícula, entre otros, con el fin de corroborar y/o mejorar la eficiencia de las extracciones por maceración y soxhlet.

BIBLIOGRAFÍA

AGRONET - MINISTERIO DE AGRICULTURA, "*Santander-Principales Cultivos por Área Sembrada en 2017*", 2017.

AHMAD B. A., *et al.*, "Phytochemical Screening, Antioxidant Activity of Pure Syringin in Comparison to Various Solvents Extracts of *Musa Paradisiaca* (Banana) (Fruit and Flower) and Total Phenolic Contents," *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.*, vol. 7, no. 5, pp. 242–247, 2015.

ALESON-CARBONELL L., *et al.*, "Functional and Sensory Effects of Fibre-Rich Ingredients on Breakfast Fresh Sausages Manufacture," *Food Sci. Technol. Int.*, vol. 11, no. 2, pp. 89–97, 2005, doi: 10.1177/1082013205052003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, "Extractive in Hot Water According to standard ASTM D 1110-56," in *Water and Environmental Technology*, 1977.

ARNEDO G. F., "Valorización de la Cáscara de Cítricos como Fuente de Antioxidantes para la Industria Alimentaria Mediante el Empleo de Procesos de Extracción No Convencionales," 2019.

ASOHOFRUCOL - FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTÍCOLA - FNF y ASOCIACIÓN HORTIFRUTÍCOLA DE COLOMBIA, "Balance del Sector Hortifrutícola," p. 16, 2019.

AYMACAÑA ALBÁN A. E., "Caracterización Bromatológica de la Cáscara de Aguacate (*Persea Americana*) y Posterior Extracción e Identificación de la Fracción con Mayor Actividad Antimicrobiana y Antioxidante.," 2018.

AYOUB M., “Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Blackberry , Black raspberry and Blueberry Seed Meals,” 2015.

BEGAM S., *et al.*, “Assessment of Bioactive Activity of Blackberry Seed Extract,” *Vol. Int. J. Trend Sci. Res. Dev.*, vol. 2, no. 5, pp. 1597–1605, 2018.

BYJU’S The Learning App, “Benedict’s Test,” 2020.
<https://byjus.com/chemistry/benedicts-test/>.

CABRERA NAVARRO S. A., SANDOVAL ALDANA A. P., y FORERO LONGAS F., “Potencial Antioxidante y Antimicrobiano de Extractos Acuósos e Hidroalcohólicos de Granadilla (*Passiflora Ligularis*),” *Acta Agron.*, vol. 63, no. 3, pp. 204–211, 2014.

CALDAS P., “Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido.,” p. 48, 2012.

CASTAÑEDA C., MARTINEZ J. David, y PUERTA N., “Pérdida y Desperdicio de alimentos en Colombia,” *Dep. Nac. Planeación*, p. 48, 2016.

CHANDA S., AMRUTIYA N., y RAKHOLIYA K., “Evaluation of Antioxidant Properties of Some Indian Vegetable and Fruit Peels by Decoction Extraction Method,” *Am. J. Food Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 173–182, 2013, doi: 10.3923/ajft.2013.173.182.

DANE, *3er Censo Nacional Agropecuario*, vol. 2. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN - DPN, “Colombianos Botan 9,76 Millones de Toneladas de Comida al Año,” 2016.
<https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombianos-botan-9,76-millones-de-toneladas->

de-comida-al-año.aspx.

DONG J. *et al.*, “Antioxidant Activities and Phenolic Compounds of Cornhusk, Corncob and Stigma Maydis,” *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 25, no. 11, pp. 1956–1964, 2014, doi: 10.5935/0103-5053.20140177.

DUQUE J. P., “Nuevos Compuestos Antioxidantes: Polifenoles Derivados de Amidas/Ureas,” *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*, 2017.

DUSUKI N. J. S., *et al.*, “Proximate Composition and Antioxidant Potential of Selected Tubers Peel,” *Food Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 121–126, 2020, doi: 10.26656/fr.2017.4(1).178.

E. OBSERVATORIO DE COMPETITIVIDAD AGROCADENAS C. MINISTERIO DE AGRICULTURA y DESARROLLO RURAL, “Agoindustria y Competitividad,” *Obs. Agrocadenas Colomb.*, p. 519, 2006.

ESCOBAR M., “Extracción de Compuestos Fenólicos de las Cáscaras de Cítricos Producidos en México,” 2010.

EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND, AGROSMARTcoop, y SUDOE INTERREG, “Incorporación de Antioxidantes de Origen Vegetal con el Objetivo de Aumentar la Vida Útil de Transformados Cárnicos,” 2017.

FERNANDEZ-AULIS F., *et al.*, “Extraction and Identification of Anthocyanins in Corn Cob and Corn Husk from Cacahuacintle Maize,” *J. Food Sci.*, vol. 84, no. 5, pp. 954–962, 2019, doi: 10.1111/1750-3841.14589.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ J., *et al.*, “Application of Functional Citrus by-Products to Meat Products,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 15, no. 3–4, pp. 176–185, 2004,

doi: 10.1016/j.tifs.2003.08.007.

GARCÍA E., FERNÁNDEZ I., y FUENTES A., “Determinación de polifenoles totales por el método de Folin- Ciocalteu,” *Univ. Politéc. Val. Dep. Tecnol. Aliment.*, p. 9, 2010, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/GarciaMart?nezetal.pdf?sequence=1>.

GOBERNACIÓN DE SANTANDER, EVALUACIONES AGROPECUARIAS MUNICIPALES, y UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA, “Evaluaciones Agropecuarias Departamento de Santander 2016,” *EVA 2016*, p. 133, 2016.

GUIMARÃES R., *et al.*, “Targeting Excessive Free Radicals with Peels and Juices of Citrus Fruits: Grapefruit, Lemon, Lime and Orange,” *Food Chem. Toxicol.*, vol. 48, no. 1, pp. 99–106, 2010, doi: 10.1016/j.fct.2009.09.022.

GUO C., *et al.*, “Antioxidant Activities of Peel, Pulp and Seed Fractions of Common Fruits as Determined by FRAP Assay,” *Nutr. Res.*, vol. 23, no. 12, pp. 1719–1726, 2003, doi: 10.1016/j.nutres.2003.08.005.

GUTIÉRREZ E. y PASCUAL G., “Caracterización de Cáscara de Mandarina (*Citrus Reticulata*) en Polvo e Inclusión en una Formulación Panaria,” *Agron. Colomb. Supl.*, vol. 1, no. October, pp. S5–S8, 2016, doi: 10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.57938.

HAGER T. J., *et al.*, “Ellagitannin composition of blackberry as determined by HPLC-ESI-MS and MALDI-TOF-MS,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, no. 3, pp. 661–669, 2008, doi: 10.1021/jf071990b.

HEGAZY A. E. y IBRAHIUM M. I., “Antioxidant Activities of Orange Peel Extracts,”

World Appl. Sci. J., vol. 18, no. 5, pp. 684–688, 2012, doi: 10.5829/idosi.wasj.2012.18.05.64179.

HERNANDEZ C., *et al.*, “Obtención de Bioetanol a partir de Hidrolizados de Residuos De Fruta,” *II Congr. Nac. Jóvenes Investig. en Ciencia, Ing. y Tecnol. los Aliment. Obtención*, pp. 115–116, 2017.

HERNÁNDEZ GARCÍA S. y VERA N. G., “Efecto de la Adición de Harina de Cáscara de Naranja sobre las Propiedades Fisicoquímicas, Texturales y Sensoriales de Salchichas Cocidas,” *NACAMEH*, vol. 4, no. 1, pp. 23–36, 2010.

JEONG S. M. *et al.*, “Effect of Heat Treatment on the Antioxidant Activity of Extracts from Citrus Peels,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 52, no. 11, pp. 3389–3393, 2004, doi: 10.1021/jf049899k.

KOCA I. y KARADENIZ B., “Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, 2009, doi: 10.1016/j.scienta.2009.03.015.

LAGHA-BENAMROUCHE S. y MADANI K., “Phenolic Contents and Antioxidant Activity of Orange Varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) Cultivated in Algeria: Peels and Leaves,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 50, pp. 723–730, 2013, doi: 10.1016/j.indcrop.2013.07.048.

LI T. *et al.*, “Major Polyphenolics in Pineapple Peels and their Antioxidant Interactions,” *Int. J. Food Prop.*, vol. 17, no. 8, pp. 1805–1817, 2014, doi: 10.1080/10942912.2012.732168.

LI Z., *et al.*, “Optimization on Anthocyanins Extraction from Wine Grape Skins Using Orthogonal Test Design,” *Food Sci. Biotechnol.*, vol. 19, no. 4, pp. 1047–

1053, 2010, doi: 10.1007/s10068-010-0147-2.

MAMTA A. y PARMINDER K., “Antimicrobial & Antioxidant Activity of Orange Pulp and Peel,” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 2, no. 11, pp. 412–415, 2013.

MESA VALENCIA A. F., “Caracterización Fisicoquímica y Funcional del Polen de Abejas (*Apis Mellifera*) como Estrategia para Generar Valor Agregado y Parámetros de Calidad al Producto Apícola,” *Univ. Nac. Colomb. Sede Medellín*, p. 84, 2015.

METTLER TOLEDO, “Determinación del Contenido de Humedad,” *Aplicaciones pesaje en el laboratorio*, 2020.

https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Laboratory_weighing/moisture-content-determination.html#overviewaf.

MILLER G. L., “Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar,” *Anal. Chem.*, vol. 31, no. 3, pp. 426–428, 1959.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, “Participación Departamental en la Producción y en el Área Cosechada,” *AGRONET*, 2020.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, “Evaluaciones Agropecuarias Municipales EVA,” 2019. <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge>.

MINISTERIO NACIONAL Y PROTECCIÓN SOCIAL y ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA FAO, “Perfil nacional de consumo de frutas y verduras,” *FAO*, p. 264, 2013.

MOHAMMAD M., SEYED Z., y SUDHAKAR M., “Free Radical Scavenging and

Antioxidant Activity of Cassava Plants,” *Asian J Pharm Clin Res*, vol. 7, no. 1, pp. 66–70, 2014, doi: 10.1007/978-1-4615-1833-4_25.

MORAIS D. R. *et al.*, “Antioxidant Activity, Phenolics and UPLC-ESI(-)-MS of Extracts from Different Tropical Fruits Parts and Processed Peels,” *Food Res. Int.*, vol. 77, pp. 392–399, 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.036.

MORENO E., ORTIZ B. L., y RESTREPO L. P., “Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales,” *Rev. Colomb. Química*, 2015, doi: 10.15446/rev.colomb.quim.v43n3.53615.

MORENO VALDERRY C., *Dispensación de Productos Farmacéuticos*. 2014.

MURILLO PEREA E., *et al.*, “Actividad Antioxidante in Vitro y Antimicrobial de Extractos Metanólicos de Cuatro Albahacas Cultivadas en Ibagué,” *Tumbaga*, vol. 1, no. 2, p. 2, 2007.

ORDOÑEZ-GÓMEZ E. S., REÁTEGUI-DÍAZ D., y VILLANUEVA-TIBURCIO J. E., “Polifenoles Totales y Capacidad Antioxidante en Cáscara y Hojas de Doce Cítricos Total,” *Sci. Agropecu.*, vol. 9, no. 1, pp. 113–121, 2018, doi: 10.17268/sci.agropecu.2018.01.13.

OYAIZU M., “Studies on Products of Browning Reaction. Antioxidative Activities of Products of Browning Reaction Prepared from Glucosamine.,” *Japanese J. Nutr. Diet.*, vol. 44, no. 6, pp. 307–315, 1986, doi: 10.5264/eiyogakuzashi.44.307.

PALADINO S. C., “Actividad Antioxidante de los Compuestos Fenólicos Contenidos en las Semillas de la VID (*Vitis vinifera* L.),” *Fac. Ciencias Agrar. Sede Mendoza*, p. 100, 2008, [Online]. Available: http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2627/tesispaladino.pdf.

PASQUEL REÁTEGUI J. L., *et al.*, “Extraction of Antioxidant Compounds from Blackberry (*Rubus* sp.) Bagasse Using Supercritical CO₂ Assisted by Ultrasound,” *J. Supercrit. Fluids*, vol. 94, pp. 223–233, 2014, doi: 10.1016/j.supflu.2014.07.019.

QUINTANAR ESCORZA M. A. y SALINAS CALDERÓN J. V., “La Capacidad Antioxidante Total. Bases y Aplicaciones.,” *Rev. Educ. Bioquim.*, vol. 28, no. 3, pp. 89–101, 2009.

RODRÍGUEZ-CARPENA J. G., *et al.*, “Avocado (*Persea americana* Mill.) Phenolics, In Vitro Antioxidant and Antimicrobial Activities, and Inhibition of Lipid and Protein Oxidation in Porcine Patties,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 59, no. 10, pp. 5625–5635, 2011, doi: 10.1021/jf1048832.

ROJAS LLANES J. P., MARTINEZ J. R., y STASHENKO E. E., “Contenido de Compuestos Fenólicos y Capacidad Antioxidante de Extractos de Mora (*Rubus Glaucus* Benth) Obtenidos Bajo Diferentes Condiciones,” *VITAE, Rev. LA Fac. QUÍMICA Farm.*, vol. 21, no. 3, pp. 218–227, 2014.

ROSETO J. C., *et al.*, “Analysis of Phenolic Composition of Byproducts (Seeds and Peels) of Avocado (*Persea americana* Mill .) Cultivated in Colombia,” *Molecules*, vol. 24, no. 3209, 2019.

SERRANO DRAGO M. E., LÓPEZ LÓPEZ M., y ESPUÑES SAÍNZ T. del R., “Componentes Bioactivos de Alimentos Funcionales de Origen Vegetal,” *Rev. Mex. Ciencias Farm.*, vol. 37, no. 4, pp. 58–68, 2006.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA, ASOCIACIÓN HORTIFRUTÍCOLA DE COLOMBIA - ASOHOFRUCOL, y FONDO NACIONAL DE FOMENTO HORTIFRUTÍCOLA - FNF, “Balance del Sector Hortifrutícola 2019,” *Frutas & Hortalizas*, vol. 69, p. 48, 2020.

SHARAPIN N., *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. 2000.

SOTO-GARCÍA M. y ROSALES-CASTRO M., “Efecto del Solvente y de la Relación Masa/Solvente, Sobre la Extracción de Compuestos Fenólicos y la Capacidad Antioxidante de Extractos de Corteza de *Pinus durangensis* Y *Quercus sideroxylla*,” *Maderas Cienc. y Tecnol.*, vol. 18, no. 4, pp. 701–714, 2016, doi: 10.4067/S0718-221X2016005000061.

SUKHDEV SWAMI H., *et al.*, *Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants*. 2008.

SUZUKI H., VAZZOLER A. E. A. de M., y PHAN V. N., “Estudo Eletroforético de Proteínas de MúsculoEsquelético de *Micropogonias Furnieri* (Desmarest, 1823) da Costa SE-S do Brasil: 1. Considerações Técnicas,” *Bol. do Inst. Ocean.*, vol. 32, no. 2, pp. 153–155, 1983, doi: 10.1590/s0373-55241983000200006.

TAFUR REYES R., *et al.*, “Plan Frutícola Nacional,” p. 43, 2006, [Online]. Available: <http://bit.ly/1pBbD9I>.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, “TAPPI Standard T-12 m-45 Preparation of Wood for Chemical Analyss (Including Procedures for Removal of Extractive and Determination of Moisture Content),” in *Fibrous Materials and Pulp Testing*, 1959.

TORRES-AGUIRRE G. A. *et al.*, “Optimización de la Extracción e Identificación de Compuestos Polifenólicos en Anís (*Pimpinella anisum*), Clavo (*Syzygium aromaticum*) y Cilantro (*Coriandrum sativum*) mediante HPLC Acoplado a Espectrometría de Masas,” *Rev. Espec. en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 21, no. 2, pp. 103–115, 2018, doi: 10.22201/fesz.23958723e.2018.2.4.

VIDARTE HURTADO R. del Milagro y ROBLES ORTIZ L. S., “Componentes Fitoquímicos y Capacidad Antioxidante de Cáscaras de Frutas de Mayor Consumo en el Perú,” 2018.

YEN G. H. y CHEN H. Y., “Antioxidant Activity of Various Tea Extracts in Relation to their Antimutagenicity.,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 43, pp. 27–32, 1995.

YEPES S. M., NARANJO MONTOYA L. J., y SÁNCHEZ OROZCO F., “Valorización de Residuos Agroindustriales - Frutas- en Medellín y el Sur del Valle del Aburrá,” *Rev. Fac. Nac. Agron.*, vol. 61, no. 1, pp. 4422–4431, 2008.

YILDIRIM A., MAVI A., y KARA A. A., “Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities of Rumex Crispus L. Extracts,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 49, no. 8, pp. 4083–4089, 2001, doi: 10.1021/jf0103572.

ZAPATA ZAPATA A. D., *et al.*, “Enzymatic Maceration of Albedo Layer from Sour Orange (*Citrus Aurantium* L.) with Protopectinase-se and Measurement of Antioxidant Activity of the Obtained Products,” *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 289–294, 2012, doi: 10.1016/j.lwt.2011.08.009.

ANEXOS

Anexo A. Caracterización del material vegetal, componente y capacidad antioxidante presentes en residuos agroindustriales.

Tabla A. Caracterización y componentes antioxidantes presentes en residuos agroindustriales.

COMPONENTES ANTIOXIDANTES PRESENTES EN RESIDUOS AGROINDUSTRIALES										
Especie	Residuo	Humedad MVS (%)	Técnica de extracción	pH	SST	Rendimiento	AR	CPT	PR Fe ³⁺	PR Cu ²⁺
					(%)	(%)	(mg G/g extracto)	(mg EAG/g extracto)	(mg EAG/ml solución)	(g CuSO ₄ red./g extracto)
Limón (<i>Citrus aurantifolia</i>)	Cáscara	19,540 ± 0,226	Maceración	3,293 ± 0,038	2,600 ± 0,000	20,142 ± 1,061	282,186 ± 22,243	53,301 ± 9,735	0,054 ± 0,007	7,908 ± 0,078
			Soxhlet	3,297 ± 0,006	2,867 ± 0,503	20,062 ± 2,079	309,617 ± 2,062	42,784 ± 4,662	0,043 ± 0,018	7,202 ± 1,065
Mandarina (<i>Citrus reticulata</i>)	Cáscara	16,148 ± 0,216	Maceración	3,540 ± 0,035	3,200 ± 0,000	27,432 ± 0,146	555,030 ± 3,475	227,136 ± 0,616 *	0,497 ± 0,056	2,963 ± 0,005 *
			Soxhlet	3,607 ± 0,006	5,200 ± 1,311	37,466 ± 6,903	525,788 ± 54,474	132,492 ± 9,609 *	0,376 ± 0,062	0,925 ± 0,234 *
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Cáscara	18,791 ± 0,211	Maceración	3,950 ± 0,030	2,800 ± 0,000	21,203 ± 1,235	709,549 ± 9,135 *	74,655 ± 2,618	0,077 ± 0,011	0,840 ± 0,005
			Soxhlet	4,033 ± 0,084	4,300 ± 1,803	27,255 ± 9,204	548,844 ± 19,463 *	80,623 ± 4,207	0,088 ± 0,030	0,610 ± 0,229
Plátano maduro (<i>Musa paradisiaca</i>)	Cáscara	24,390 ± 0,462	Maceración	5,170 ± 0,026	3,100 ± 0,000	20,252 ± 1,209	896,461 ± 12,915	14,320 ± 1,352 *	0,085 ± 0,020	13,845 ± 0,375 *
			Soxhlet	5,120 ± 0,035	4,100 ± 0,889	29,706 ± 3,504	1012,397 ± 54,970	18,990 ± 2,325 *	0,063 ± 0,040	12,266 ± 0,501 *
Plátano verde (<i>Musa paradisiaca</i>)	Cáscara	15,206 ± 0,233	Maceración	5,680 ± 0,026	1,200 ± 0,000	10,477 ± 0,297	28,452 ± 0,000 *	14,423 ± 2,009	0,030 ± 0,001	3,047 ± 0,015 *
			Soxhlet	5,630 ± 0,030	1,233 ± 0,321	7,598 ± 1,615	80,514 ± 15,231 *	14,931 ± 1,480	0,040 ± 0,015	6,983 ± 0,312 *
Piña (<i>Ananas comosus</i>)	Cáscara	17,381 ± 0,321	Maceración	3,800 ± 0,010	2,600 ± 0,000	19,519 ± 0,317	581,481 ± 1,711 *	28,056 ± 0,025 *	0,084 ± 0,009 *	14,837 ± 0,272 *
			Soxhlet	3,890 ± 0,017	3,733 ± 0,306	27,666 ± 1,447	472,808 ± 5,058 *	39,822 ± 0,431 *	0,132 ± 0,013 *	10,950 ± 0,784 *
Maíz (<i>Zea mays</i>)	Cáscara	14,072 ± 0,166	Maceración	4,917 ± 0,067	1,600 ± 0,000	13,796 ± 0,825	1115,482 ± 95,923 *	20,018 ± 2,547 *	0,005 ± 0,001 *	24,870 ± 0,318 *
			Soxhlet	5,010 ± 0,082	3,500 ± 0,608	24,046 ± 0,842	790,087 ± 6,794 *	26,074 ± 2,459 *	0,047 ± 0,001 *	11,828 ± 0,148 *
Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	Cáscara	13,167 ± 0,159	Maceración	5,247 ± 0,021	1,400 ± 0,000	12,696 ± 0,460	493,078 ± 6,787 *	26,293 ± 3,235 *	0,040 ± 0,003 *	6,557 ± 0,157
			Soxhlet	5,333 ± 0,015	1,067 ± 0,115	7,806 ± 1,315	278,194 ± 6,052 *	14,296 ± 1,922 *	0,013 ± 0,004 *	7,423 ± 0,708
Aguacate (<i>Persea americana</i>)	Semilla	20,485 ± 0,089	Maceración	5,530 ± 0,030	1,600 ± 0,000	15,104 ± 0,194	470,716 ± 14,249 *	29,636 ± 0,289 *	0,025 ± 0,003 *	7,252 ± 0,066 *
			Soxhlet	4,787 ± 0,012	2,400 ± 0,000	18,782 ± 0,191	296,016 ± 8,080 *	152,520 ± 7,259 *	0,246 ± 0,014 *	8,343 ± 0,093 *
Aguacate (<i>Persea americana</i>)	Cáscara	12,909 ± 0,062	Maceración	5,157 ± 0,006	0,800 ± 0,000	7,357 ± 0,192	333,922 ± 25,718 *	333,062 ± 3,287	0,153 ± 0,030	22,733 ± 0,099 *
			Soxhlet	5,207 ± 0,025	2,000 ± 0,600	13,779 ± 3,177	407,200 ± 6,439 *	428,591 ± 68,610	0,377 ± 0,221	8,724 ± 1,075 *
Mora (<i>Rubus glaucus</i>)	Semilla	10,071 ± 0,062	Maceración	4,163 ± 0,006	0,067 ± 0,058	0,890 ± 0,011	N.D	238,838 ± 15,778	0,016 ± 0,006 *	18,432 ± 0,215
			Soxhlet	4,010 ± 0,000	0,167 ± 0,115	1,365 ± 0,892	N.D	238,378 ± 35,500	0,107 ± 0,030 *	18,562 ± 0,225

Los resultados se expresan con la media ± la desviación standard (n=3). MVS: Material vegetal seco, N.D: No detectado, SST: Sólidos solubles totales, AR: Azúcares reductores, G: Glucosa, CPT: Contenido de polifenoles totales, EAG: Equivalente de ácido gálico, PR: Poder reductor. El * indica que existe diferencia significativa (p<0,05) entre las técnicas de extracción.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en azúcares reductores $\alpha=0.05$.

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de limón

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Limon

μ_2 : media de población de Soxhlet-Limon

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Limon	3	282.2	22.2	13
Soxhlet-Limon	3	309.62	2.06	1.2

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-27.4	(-82.9; 28.1)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-2.13	2	0.167

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de mandarina

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Mandarina

μ_2 : media de población de Soxhlet-Mandarina

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Mandarina	3	555.03	3.48	2.0
Soxhlet-Mandarina	3	525.8	54.5	31

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
29.2	(-106.4; 164.8)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0.93	2	0.451

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de naranja

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Naranja

μ_2 : media de población de Soxhlet-Naranja

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Naranja	3	709.55	9.14	5.3
Soxhlet-Naranja	3	548.8	19.5	11

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
160.7	(107.3; 214.1)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
12.95	2	0.006

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano maduro

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoM

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoM

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-PlatanoM	3	896.5	12.9	7.5
Soxhlet-PlatanoM	3	1012.4	55.0	32

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-115.9	(-256.2; 24.3)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-3.56	2	0.071

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano verde

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoV

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoV

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-PlatanoV	3	28.452302	0.000175	0.00010
Soxhlet-PlatanoV	3	80.5	15.2	8.8

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-52.06	(-89.90; -14.23)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-5.92	2	0.027

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de piña

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Piña

μ_2 : media de población de Soxhlet-Piña

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Piña	3	581.48	1.71	0.99
Soxhlet-Piña	3	472.81	5.06	2.9

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
108.67	(95.41; 121.94)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
35.25	2	0.001

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de maíz

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Maiz

μ_2 : media de población de Soxhlet-Maiz

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Maiz	3	1115.5	95.9	55
Soxhlet-Maiz	3	790.09	6.79	3.9

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
325.4	(86.5; 564.3)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
5.86	2	0.028

✓ **Prueba de hipótesis para la semilla de aguacate**

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateS

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateS

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateS	3	470.7	14.2	8.2
Soxhlet-AguacateS	3	296.02	8.08	4.7

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
174.70	(144.60; 204.80)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
18.47	3	0.000

✓ **Prueba de hipótesis para la cáscara de aguacate**

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateC

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateC	3	333.9	25.7	15
Soxhlet-AguacateC	3	407.20	6.44	3.7

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-73.3	(-139.1; -7.4)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-4.79	2	0.041

Anexo C. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en contenido de polifenoles totales $\alpha=0.05$.

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de limón

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Limon

μ_2 : media de población de Soxhlet-Limon

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
---------	---	-------	-----------	----------------------------

Maceracion-Limon	3	53.30	9.73	5.6
Soxhlet-Limon	3	42.78	4.66	2.7

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
10.52	(-16.30; 37.33)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
1.69	2	0.234

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de mandarina

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Mandarina
 μ_2 : media de población de Soxhlet-Mandarina
 Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Mandarina	3	227.136	0.616	0.36
Soxhlet-Mandarina	3	132.49	9.61	5.5

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
94.64	(70.73; 118.56)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
17.03	2	0.003

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de naranja

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Naranja

μ_2 : media de población de Soxhlet-Naranja

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Naranja	3	74.66	2.62	1.5
Soxhlet-Naranja	3	80.62	4.21	2.4

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-5.97	3.50	(-13.91; 1.97)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-2.09	4	0.105

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano maduro

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoM

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoM

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-PlatanoM	3	14.32	1.35	0.78
Soxhlet-PlatanoM	3	18.99	2.32	1.3

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-4.67	1.90	(-8.98; -0.36)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-3.01	4	0.040

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano verde

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoV

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoV

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-PlatanoV	3	14.42	2.01	1.2
Soxhlet-PlatanoV	3	14.93	1.48	0.85

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
------------	--------------------	------------------------------

-0.51 1.76 (-4.51; 3.49)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0.35	4	0.742

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de piña

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Piña

μ_2 : media de población de Soxhlet-Piña

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Piña	3	28.0563	0.0253	0.015
Soxhlet-Piña	3	39.822	0.431	0.25

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-11.766	(-12.839; -10.692)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-47.16	2	0.000

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de maíz

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Maiz

μ_2 : media de población de Soxhlet-Maiz

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Maiz	3	20.02	2.55	1.5
Soxhlet-Maiz	3	26.07	2.46	1.4

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-6.06	2.50	(-11.73; -0.38)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-2.96	4	0.041

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de yuca

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Yuca

μ_2 : media de población de Soxhlet-Yuca

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Yuca	3	26.29	3.23	1.9
Soxhlet-Yuca	3	14.30	1.92	1.1

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
12.00	2.66	(5.97; 18.03)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
5.52	4	0.005

✓ Prueba de hipótesis para la semilla de aguacate

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateS

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateS

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateS	3	29.636	0.289	0.17
Soxhlet-AguacateS	3	152.52	7.26	4.2

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-122.88	(-140.93; -104.84)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-29.30	2	0.001

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de aguacate

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateC

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateC	3	333.06	3.29	1.9
Soxhlet-AguacateC	3	428.6	68.6	40

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-95.5	(-266.2; 75.1)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-2.41	2	0.138

✓ **Prueba de hipótesis para la semilla de mora**

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Mora

μ_2 : media de población de Soxhlet-Mora

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Mora	3	238.8	15.8	9.1

Soxhlet-Mora 3 238.4 35.5 20

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.5	(-96.0; 97.0)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0.02	2	0.985

Anexo D. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en poder reductor de Fe^{3+}
 $\alpha=0.05$.

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de limón

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Limon

μ_2 : media de población de Soxhlet-Limon

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Limon	3	0.05422	0.00736	0.0042
Soxhlet-Limon	3	0.0428	0.0180	0.010

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.0115	(-0.0369; 0.0598)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
1.02	2	0.416

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de mandarina

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Mandarina

μ_2 : media de población de Soxhlet-Mandarina

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Mandarina	3	0.4969	0.0562	0.032
Soxhlet-Mandarina	3	0.3765	0.0615	0.036

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
0.1205	0.0589	(-0.0131; 0.2540)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
2.50	4	0.066

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de naranja

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Naranja

μ_2 : media de población de Soxhlet-Naranja

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Naranja	3	0.0768	0.0105	0.0061
Soxhlet-Naranja	3	0.0880	0.0295	0.017

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.0112	(-0.0891; 0.0666)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0.62	2	0.598

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano maduro

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoM

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoM

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-PlatanoM	3	0.0851	0.0197	0.011
Soxhlet-PlatanoM	3	0.0631	0.0396	0.023

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.0220	(-0.0879; 0.1320)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
0.86	2	0.479

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano verde

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoV

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoV

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-PlatanoV	3	0.030432	0.000648	0.00037
Soxhlet-PlatanoV	3	0.0400	0.0154	0.0089

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.00957	(-0.04778; 0.02864)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1.08	2	0.394

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de piña

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Piña

μ_2 : media de población de Soxhlet-Piña

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Piña	3	0.08369	0.00894	0.0052
Soxhlet-Piña	3	0.1320	0.0127	0.0073

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-0.04832	0.01100	(-0.07326; -0.02338)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-5.38	4	0.006

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de maíz

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Maiz

μ_2 : media de población de Soxhlet-Maiz

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Maiz	3	0.00537	0.00106	0.00061
Soxhlet-Maiz	3	0.04714	0.00113	0.00065

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-0.041771	0.001097	(-0.044259; -0.039283)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-46.62	4	0.000

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de yuca

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Yuca

μ_2 : media de población de Soxhlet-Yuca

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Yuca	3	0.03960	0.00341	0.0020
Soxhlet-Yuca	3	0.01270	0.00439	0.0025

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
0.02690	0.00393	(0.01798; 0.03582)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
8.37	4	0.001

✓ Prueba de hipótesis para la semilla de aguacate

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateS

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateS

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateS	3	0.02541	0.00349	0.0020
Soxhlet-AguacateS	3	0.2463	0.0140	0.0081

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.22093	(-0.25671; -0.18515)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-26.57	2	0.001

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de aguacate

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateC

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateC	3	0.1528	0.0301	0.017
Soxhlet-AguacateC	3	0.377	0.221	0.13

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.224	(-0.779; 0.331)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-1.74	2	0.224

✓ **Prueba de hipótesis para la semilla de mora**

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Mora

μ_2 : media de población de Soxhlet-Mora

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Mora	3	0.01640	0.00558	0.0032
Soxhlet-Mora	3	0.1070	0.0305	0.018

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
-0.0906	(-0.1675; -0.0137)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-5.07	2	0.037

Anexo E. Pruebas de hipótesis para la diferencia de medias en poder reductor de Cu^{2+}
 $\alpha=0.05$.

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de limón

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Limon

μ_2 : media de población de Soxhlet-Limon

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Limon	3	7.9079	0.0779	0.045
Soxhlet-Limon	3	7.20	1.07	0.62

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.706	(-1.948; 3.359)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
1.14	2	0.371

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de mandarina

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Mandarina

μ_2 : media de población de Soxhlet-Mandarina

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Mandarina	3	2.96309	0.00528	0.0031
Soxhlet-Mandarina	3	0.925	0.234	0.13

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
2.038	(1.457; 2.619)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
15.09	2	0.004

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de naranja

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Naranja

μ_2 : media de población de Soxhlet-Naranja

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Naranja	3	0.83981	0.00503	0.0029
Soxhlet-Naranja	3	0.610	0.229	0.13

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
0.230	(-0.338; 0.799)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
1.74	2	0.223

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano maduro

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoM

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoM

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-PlatanoM	3	13.845	0.375	0.22
Soxhlet-PlatanoM	3	12.266	0.501	0.29

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
------------	--------------------	------------------------------

1.579 0.443 (0.575; 2.583)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

<u>Valor T</u>	<u>GL</u>	<u>Valor p</u>
4.37	4	0.012

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de plátano verde

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-PlatanoV

μ_2 : media de población de Soxhlet-PlatanoV

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

<u>Muestra</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Desv.Est.</u>	<u>Error estándar de la media</u>
Maceracion-PlatanoV	3	3.0472	0.0153	0.0088
Soxhlet-PlatanoV	3	6.983	0.312	0.18

Estimación de la diferencia

<u>Diferencia</u>	<u>IC de 95% para la diferencia</u>
-3.936	(-4.713; -3.159)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

<u>Valor T</u>	<u>GL</u>	<u>Valor p</u>
-21.80	2	0.002

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de piña

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Piña

μ_2 : media de población de Soxhlet-Piña

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Piña	3	14.837	0.272	0.16
Soxhlet-Piña	3	10.950	0.784	0.45

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
3.886	(1.826; 5.947)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
8.12	2	0.015

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de maíz

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Maiz

μ_2 : media de población de Soxhlet-Maiz

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
---------	---	-------	-----------	----------------------------

Maceracion-Maiz	3	24.870	0.318	0.18
Soxhlet-Maiz	3	11.828	0.148	0.086

Estimación de la diferencia

	IC de 95% para la	
Diferencia	diferencia	
13.043	(12.172; 13.913)	

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
64.46	2	0.000

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de yuca

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Yuca

μ_2 : media de población de Soxhlet-Yuca

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Yuca	3	6.557	0.157	0.090
Soxhlet-Yuca	3	7.423	0.708	0.41

Estimación de la diferencia

	IC de 95% para la	
Diferencia	diferencia	
-0.866	(-2.668; 0.936)	

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-2.07	2	0.175

✓ Prueba de hipótesis para la semilla de aguacate

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateS

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateS

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateS	3	7.2522	0.0662	0.038
Soxhlet-AguacateS	3	8.3429	0.0926	0.053

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
-1.0907	0.0805	(-1.2733; -0.9082)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-16.59	4	0.000

✓ Prueba de hipótesis para la cáscara de aguacate

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-AguacateC

μ_2 : media de población de Soxhlet-AguacateC

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-AguacateC	3	22.7335	0.0990	0.057
Soxhlet-AguacateC	3	8.72	1.08	0.62

Estimación de la diferencia

Diferencia	IC de 95% para la diferencia
14.010	(11.328; 16.692)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
22.48	2	0.002

✓ Prueba de hipótesis para la semilla de mora

Método

μ_1 : media de población de Maceracion-Mora

μ_2 : media de población de Soxhlet-Mora

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

Se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Maceracion-Mora	3	18.432	0.215	0.12
Soxhlet-Mora	3	18.562	0.225	0.13

Estimación de la diferencia

Diferencia	Desv.Est. agrupada	IC de 95% para la diferencia
------------	--------------------	------------------------------

-0.130 0.220 (-0.629; 0.369)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0.72	4	0.509

Anexo F. Coeficientes de correlación de Pearson.

✓ *Azúcares reductores – Contenido de polifenoles totales*

Correlaciones

	CPT (mg EAG/g extracto)
AR (mg G/g extracto)	-0.320

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
AR (mg G/g extracto)	CPT (mg EAG/g extracto)	22	-0.320	(-0.654; 0.117)	0.146

✓ *Azúcares reductores – Poder reductor Fe^{3+}*

Correlaciones

	PR Fe^{3+} (mg EAG/ml solución)
AR (mg G/g extracto)	0.014

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
AR (mg G/g extracto)	PR Fe^{3+} (mg EAG/ml solución)	22	0.014	(-0.410; 0.433)	0.950

✓ *Azúcares reductores – Poder reductor Cu^{2+}*

Correlaciones

	PR Cu^{2+} (g $CuSO_4$ red/g extracto)
AR (mg G/g extracto)	0.128

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
AR (mg G/g extracto)	PR Cu ²⁺ (g CuSO ₄ red/g extracto)	22	0.128	(-0.311; 0.521)	0.571

✓ Poder reductor Fe²³⁺ – Contenido de polifenoles totales

Correlaciones

	CPT (mg EAG/g extracto)
PR Fe ³⁺ (mg EAG/ml solución)	0.623

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
PR Fe ³⁺ (mg EAG/ml solución)	CPT (mg EAG/g extracto)	22	0.623	(0.273; 0.827)	0.002

✓ Poder reductor Cu²⁺ – Contenido de polifenoles totales

Correlaciones

	CPT (mg EAG/g extracto)
PR Cu ²⁺ (g CuSO ₄ red/g extracto)	0.211

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
PR Cu ²⁺ (g CuSO ₄ red/g extracto)	CPT (mg EAG/g extracto)	22	0.211	(-0.231; 0.581)	0.345

✓ Poder reductor Fe³⁺ – Poder reductor Cu²⁺

Correlaciones

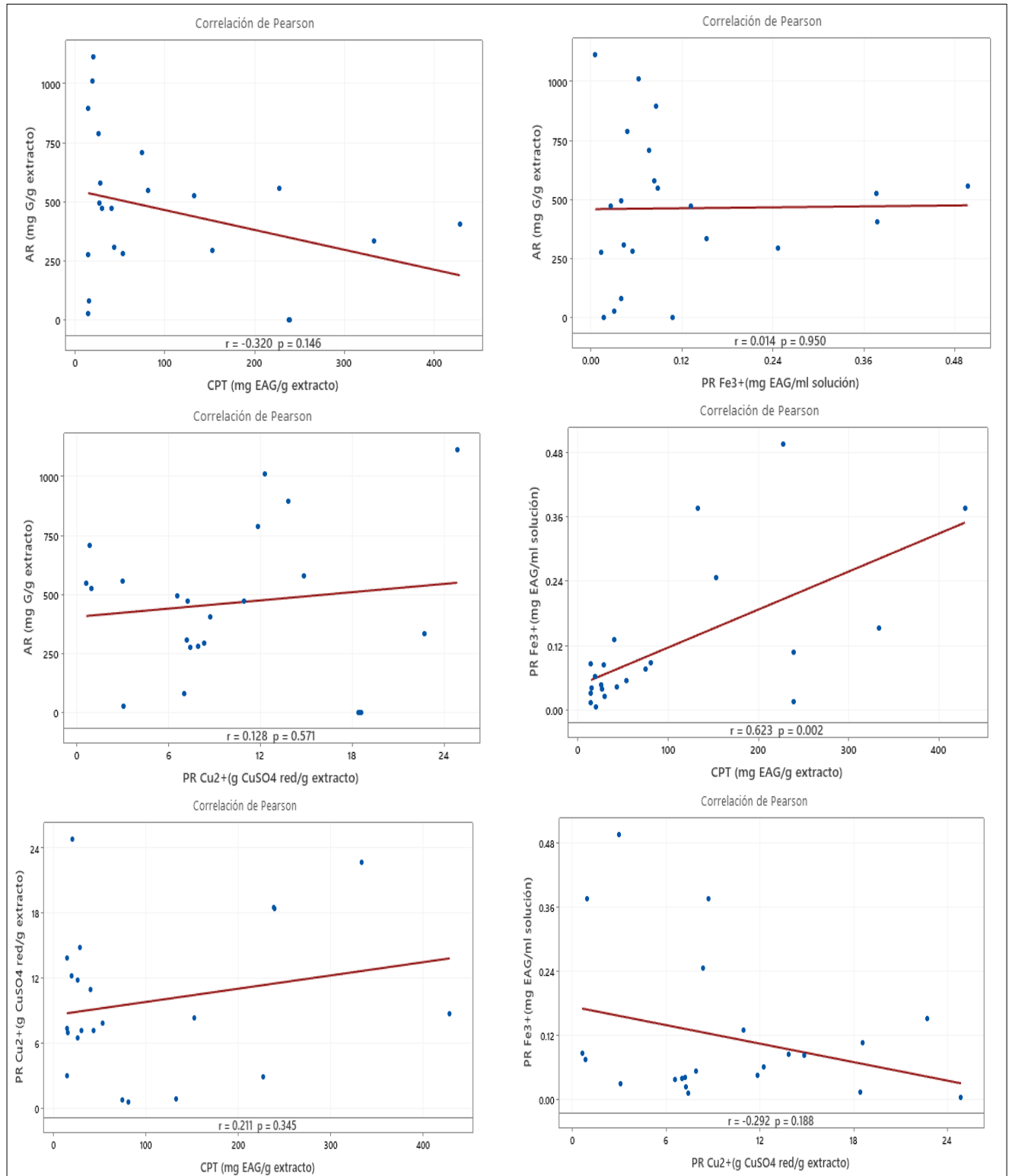
	PR Cu ²⁺ (g CuSO ₄ red/g extracto)
PR Fe ³⁺ (mg EAG/ml solución)	-0.292

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
PR Fe ³⁺ (mg EAG/ml solución)	PR Cu ²⁺ (g CuSO ₄ red/g extracto)	22	-0.292	(-0.635; 0.148)	0.188

Anexo G. Coeficientes de correlación de Pearson (Gráficas).

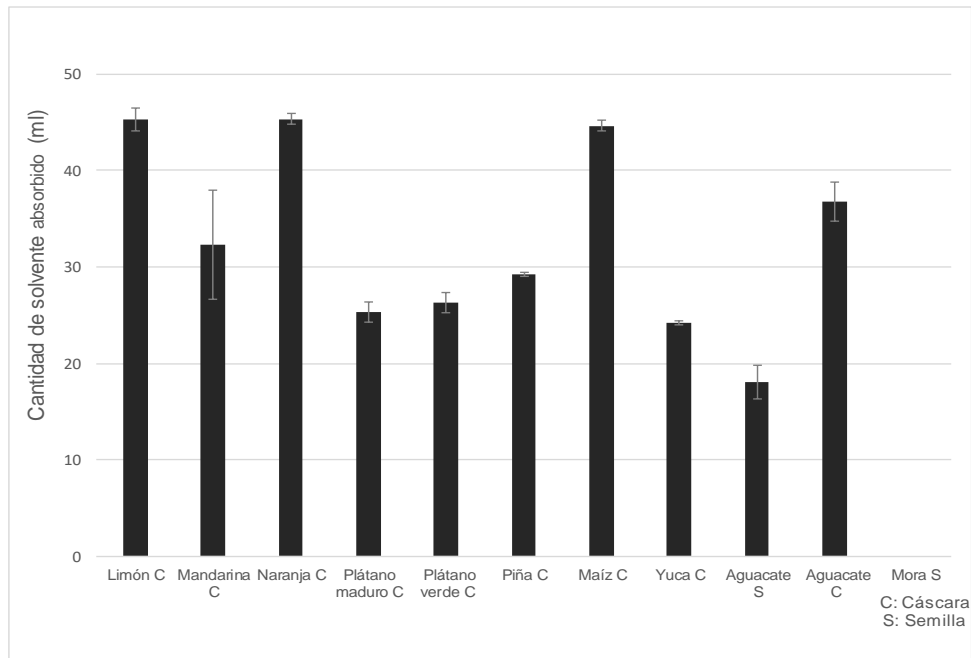
Figura G. Gráficos de regresión lineal y coeficientes de correlación de Pearson de los valores de capacidades y componentes. Correlaciones significativas ($p < 0,05$) para dependencias de las variables relacionadas.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo H. Prueba de hinchamiento

Figura H. Prueba de hinchamiento en material vegetal seco de los residuos agroindustriales. Los resultados representan el promedio (n=3) \pm desviación estándar.



Fuente: Elaboración propia.