

APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA MIXTA FUZZY DELPHI Y FUZZY AHP PARA LA  
TOMA DE DECISIONES EN LA INCLUSIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES  
EN FORMULACIONES ALIMENTARIAS

CASO: CASCARILLA DE CACAO

LUIS FELIPE RUIZ RAMÍREZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA

MEDELLÍN

2020

APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA MIXTA FUZZY DELPHI Y FUZZY AHP PARA LA  
TOMA DE DECISIONES EN LA INCLUSIÓN DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES  
EN FORMULACIONES ALIMENTARIAS.

CASO: CASCARILLA DE CACAO

LUIS FELIPE RUIZ RAMÍREZ

Trabajo de grado para optar al título de Magister en gestión tecnológica

Director

ROBIN ZULUAGA GALLEGO

Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN GESTIÓN TECNOLÓGICA

MEDELLÍN

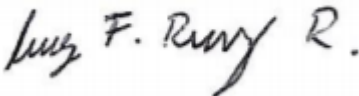
2020

2020-08-07

**LUIS FELIPE RUIZ RAMIREZ**

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad”. Art. 92, parágrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.

**Firma del autor**



Luis F. Ruiz R.

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

Firma  
Nombre:  
Presidente del Jurado

---

Firma  
Nombre:  
Presidente del Jurado

---

Firma  
Nombre:  
Presidente del Jurado

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la voluntad para sacar adelante este trabajo de grado, a la Universidad por haberme dado la posibilidad de realizar este posgrado, a los profesores Robin Zuluaga, Jhon Wilder Zartha, Alejandro Patiño y Lina María Vélez, a mi familia, a los asesores y orientadores, y a los expertos consultados y entrevistados.

## CONTENIDO

1.....	1
MARCO DE REFERENCIA.....	1
Descripción del proceso del cacao.....	2
Métodos para la toma de decisiones.....	4
2.....	11
METODOLOGÍA.....	11
Vigilancia tecnológica del estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en la industria de alimentos.....	11
Evaluación mediante la metodología <i>Fuzzy Delphi</i> los factores clave encontrados en la vigilancia tecnológica para la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos...	14
Definición mediante la metodología <i>Fuzzy AHP</i> la importancia de cada uno de los factores clave para la evaluación de la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos.....	21
3.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
Vigilancia tecnológica del estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en la industria de alimentos.....	30
Evaluación mediante la metodología <i>Fuzzy Delphi</i> los factores clave encontrados en la vigilancia tecnológica para la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos...	41
Definición mediante la metodología <i>Fuzzy AHP</i> la importancia de cada uno de los factores clave para la evaluación de la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos.....	45
Análisis de los factores clave y su importancia para la evaluación de la inclusión de la cascarilla de cacao en formulaciones alimentarias.....	49
4.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso del cacao.....	3
Figura 4. Publicaciones en el tiempo .....	30
Figura 5. Publicaciones por región.....	31
Figura 6. Publicaciones por área del conocimiento .....	31
Figura 7. Patentes en el tiempo .....	37
Figura 8. Patentes por aplicante .....	37
Figura 9. Nube de palabras. ....	43
Figura 10. Resultados coeficiente de conocimiento .....	44
Figura 11. Árbol de decisión.....	45
Figura 12. Expertos por regiones .....	50
Figura 13. Metodología propuesta para subproductos agroindustriales actuales .....	52
Figura 14. Metodología propuesta para subproductos agroindustriales futuras.....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ficha de planeación de ejercicio de vigilancia tecnológica .....	12
Tabla 2. Bitácora de vigilancia tecnológica. ....	13
Tabla 3. Variables lingüísticas para la importancia del peso del criterio .....	18
Tabla 4. Variables lingüísticas para las razones de alternativas .....	18
Tabla 5. Valores del coeficiente de argumentación (Cabero & Barroso, 2013).....	20
Tabla 7. Escala numérica.....	26
Tabla 8. Matriz de decisión .....	27
Tabla 9. Escala de importancia en números triangulares .....	28
Tabla 10. Grupos de aplicaciones de la cascarilla o sus componentes artículos. ....	31
Tabla 11. Grupos de aplicaciones de la cascarilla o sus componentes patentes.....	38
Tabla 12. Resultados cuantitativos de alternativas .....	41
Tabla 13. Resultados cuantitativos de los criterios.....	42
Tabla 14. Resultados coeficiente de argumentación.....	43
Tabla 15. Aplicaciones de la cascarilla mediante fluidos supercríticos.....	44
Tabla 16. Matriz de comparación .....	46
Tabla 17. Pesos centro .....	46
Tabla 18. Precios de fluidos supercríticos.....	47
Tabla 19. Precios alcalinización.....	47
Tabla 20. Precios de la desfibrilación mecánica.....	47
Tabla 21. Precios de la extracción con solventes.....	47
Tabla 22. Matriz trade off .....	48
Tabla 23. Matriz Trade off corregida .....	48
Tabla 24. Tecnologías más estudiadas.....	51
Tabla 25. Alternativas priorizadas.....	51
Tabla 26. Matriz trade off .....	51



## RESUMEN

Inicialmente se realizó una vigilancia tecnológica del estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos, ya que actualmente este subproducto no agrega valor a la cadena productiva. Para ello se tuvo en cuenta tanto fuentes académicas (artículos científicos) como tecnológicas (patentes) revisando en total 277 documentos, de los cuales se encontraron 84 útiles para la investigación en curso, estos se identificaron porque buscaban aplicaciones para la cascarilla en la industria de alimentos, de ellos se extrajeron en total 22 aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos. Las bases de datos utilizadas fueron Scopus, Web of science, Lens.org y Pateninspiration. Después de identificar los usos se seleccionaron aquellos que han sido más estudiados por la academia y las tecnologías que permiten dichas aplicaciones.

Posteriormente para priorizar las alternativas de tecnologías encontradas, se realizó una consulta a expertos con variables cualitativas, con el fin de identificar el peso de cada uno de los factores clave o criterios encontrados en el capítulo anterior. Para eso se construyó un perfil de los expertos a consultar, posteriormente se buscó en diferentes bases de datos de investigadores expertos que pudieran aportar al proceso y se les compartió un formulario donde podían evaluar cada una de las alternativas y los criterios de evaluación de estas. Una vez compartido el formulario se recogieron las respuestas y se realizaron los cálculos para identificar que desde el punto de vista cualitativo la alternativa a priorizar debería ser la extracción con fluidos supercríticos desde el punto de vista de la academia.

Después de identificar en términos cualitativos la tecnología de aplicación más adecuada, con la metodología *Fuzzy Analytic hierarchy process (Fuzzy AHP)* se buscó cuantificar desde el punto de vista de la industria la tecnología a priorizar, basados en los criterios de escalabilidad, riesgo ambiental, riesgo humano, precio de la tecnología y afinidad con la industria de alimentos. Después de aplicar la metodología se encontró que la extracción con solventes grado alimenticio, es la mejor alternativa de acuerdo con estos criterios, sin embargo, en el análisis a futuro se podrían incluir criterios como el precio del subproducto obtenido y el rendimiento del proceso.

Finalmente se realiza el análisis de la información obtenida en los capítulos anteriores incluyendo los principales resultados, la comparación con resultados de otras investigaciones y los comentarios de los expertos en diferentes etapas del proceso investigativo. Por último,

se propone una metodología para identificar potenciales aplicaciones de los subproductos agroindustriales que puede ser aplicada en futuras investigaciones.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), alrededor del mundo se producen anualmente más de 4,3 millones de toneladas de granos de cacao, liderado por África con el 66 % de la producción, seguido de América con el 15 % (FAO, 2018), especialmente de Brasil que genera el 5 % de los granos a nivel mundial (Cacao México, 2018).

En Colombia la producción de este grano tampoco es despreciable, en el 2017 el país produjo 60.535 t (Fedecacao, 2011), alcanzando volúmenes históricos en la producción nacional, respondiendo a las necesidades internas y al crecimiento de la demanda extranjera. Esto trae consigo un sin número de elementos positivos, pero a su vez se generan subproductos como la cascarilla, la cual, a pesar de tener aplicaciones en el marco de ingredientes alimenticios y productos de nutrición funcional, no ha sido ampliamente utilizada. Es por esto, que este estudio pretende recoger la literatura existente en este tema, para entender la forma como se debe aprovechar la presencia los compuestos que se encuentran en la cascarilla.

Las principales aplicaciones que se le dan a este material son: materia prima en la industria de alimentación animal, abono orgánico para cultivos y como combustible en calderas (Panak, y otros, 2018), alternativas que si bien son viables y de fácil acceso, no explotan todo el potencial de este subproducto, el cual representa entre el 12 % y el 20 % del grano. Últimamente, ha habido múltiples investigaciones que centran su atención en la cascarilla por su alto valor nutricional y su contenido de fitoquímicos, cuya composición depende principalmente de la variedad, la región de crecimiento, los procesos de fermentación y procesamiento (Jokic´, y otros, 2020).

Gracias al potencial nutritivo de la cascarilla, esta ha sido utilizada en alimentos concentrados para animales como cabras, peces y cerdos; sin embargo, esta aplicación se ve limitada por su alto contenido de teobromina y cafeína; mientras para el consumo humano, se han reportado usos como fortificación de productos refrigerados de maíz, harina para galletas,

entre otros. También cuenta con aplicaciones médicas como en el cuidado oral, efectos contra el estreñimiento, diurético, estimulante cardíaco y anticancerígeno, estos tres últimos gracias a la teobromina, entre muchas otras aplicaciones que han sido exploradas en diferentes ramas del conocimiento (Pavlovic, Jokic, Jakovljevic, Blažic, & Molnar, 2020).

La cascarilla es obtenida al separarse del cotiledón durante el pretostado o después del tostado de los granos en la producción de chocolate (Flanjak, y otros, 2018). En su estructura interna, este material cuenta con polifenoles (aprox. 1–2 %), alcaloides como la teobromina (aprox. 1–2 %), vitaminas como la D, minerales como el calcio y el fósforo, aminoácidos, así como fibras dietéticas solubles e insolubles (aprox. 25-30 %), etc. (Handojo, Triharyogi, & Indarto, 2019).

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Aplicar una metodología mixta Fuzzy Delphi y Fuzzy AHP para la toma de decisiones en la inclusión de subproductos agroindustriales en formulaciones alimentarias. Caso: cascarilla de cacao.

### Objetivos Específicos

Diagnosticar mediante vigilancia tecnológica el estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en la industria de alimentos.

Evaluar mediante la metodología *Fuzzy Delphi* los factores clave encontrados en la vigilancia tecnológica para la evaluación de la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos.

Definir mediante la metodología *Fuzzy AHP* la importancia de cada uno de los factores clave para la evaluación de la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos.

Analizar los factores clave y su importancia a partir de estadística inferencial para la evaluación de la inclusión de la cascarilla de cacao en formulaciones alimentarias.

# 1

## MARCO DE REFERENCIA

La agroindustria alimentaria, genera una gran cantidad de residuos y subproductos a lo largo de la cadena productiva, estos excedentes son excelentes fuentes de compuestos bioactivos y nutrientes con un alto potencial de valorización como nuevos ingredientes para la industria de alimentos, sin embargo, estos aún no han sido aprovechados (Iriondo-DeHonda, Miguel, & del Castillo, 2018). En Colombia los procesos de industrialización generan desarrollo en las regiones y aumentan la calidad de vida de las poblaciones, pero no tienen en cuenta los subproductos generados (Katia, Yelitza, Martinez, & Olivero, 2017). Ahora bien, este tipo de material no es el principal objeto de la operación de las empresas, pero pueden ser aprovechados para otros productos siempre y cuando se manipulen en forma adecuada (Katia, Yelitza, Martinez, & Olivero, 2017). A pesar de ello, la carencia de estudios económicos, sociales y nutricionales para aprovechar estos materiales, de la mano con la falta de conciencia en la protección de los recursos naturales, llevan a que sean mal manejados y se conviertan en residuos contaminantes (Katia, Yelitza, Martinez, & Olivero, 2017). De allí la importancia de esta investigación, donde se relacionan diferentes aspectos como: evaluación de proyectos, toma de decisiones y vigilancia tecnológica, para recoger lo que se ha estudiado hasta el momento, buscando partir de bases sólidas y actualizadas. En particular se llegó a las

aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos, después de evidenciar el crecimiento de esta industria en el país y las perspectivas que se tienen para la sustitución de cultivos ilícitos con cacao en Colombia.

### **Descripción del proceso del cacao**

El cacao es una materia prima que se caracteriza por su aporte nutricional, sus propiedades organolépticas, y de allí surgen diversidad de aplicaciones que se le han encontrado desde el punto de partida para la elaboración del chocolate, siendo uno de los alimentos más populares en todo el mundo. Para obtenerlo, el proceso inicia con la cosecha de la mazorca, la cual es retirada del árbol cuando alcanza el estado de madurez óptimo para su cosecha (Penagos, 2018). Una vez es desprendido, se le retira la corteza exterior de la mazorca conocida como cacota (la epidermis de la mazorca), la cual es desechada y representa aproximadamente el 90 % del peso del fruto cosechado. Los granos y el mucilago, son introducidos en cajones de madera, donde se da el proceso de fermentación el cual resalta las cualidades organolépticas del fruto (Okiyama, Navarro, & E.C.Rodrigues, 2017). Posteriormente, el cacao es secado y empacado en sacos para enviarlo a los centros de acopio desde donde lo comercializan a la industria (Penagos, 2018).

Al ingresar el cacao al proceso, inicialmente es limpiado mediante un cernido, que permite retirar piedras, palos y demás impurezas que vienen en el saco. Posteriormente, dependiendo del producto final que se quiera obtener, el proceso varía, es posible que entre directamente al proceso de tostión para después realizar la molienda y el descascarillado o solo se realice un precalentamiento dependiendo de las necesidades para tostarlo después del proceso de molienda y descascarillado (Penagos, 2018). De allí en adelante se desglosan un sin número de variaciones que al igual que el proceso anterior, dependen del producto final que se desee obtener.

Como se observa en la Figura 1, es en las fases de tostión y descascarillado del proceso donde se obtiene la cascarilla, la cual representa entre el 12 % y el 20 % del peso del fruto seco, dependiendo de la variedad de cacao utilizada (Okiyama, Navarro, & E.C.Rodrigues, 2017). En la literatura se han encontrado nuevas aplicaciones para

este material como: la producción de jaleas y mermeladas a partir de la pectina extraída (Arlorio, Coisson, Restani, & Martelli, 2001), ingrediente con aporte de fibra dietaría en alimentos funcionales (Martínez, y otros, 2012), producción de galletas y tortas aportando olor y color (Lecumberri, y otros, 2007), panes y muffins como reemplazante de grasa (Collar, Rosell, Muguerza, & Moulay, 2009), aditivo como antioxidante en carne refrigerada (Amin & Yee, 2006), factor para incrementar la acidez en productos lácteos frescos (Chronopoulos, Zuurbier, Brandstetter, & Jung, 2011), saborizante para alimentos de chocolate (Wang, 2015), retardante para la oxidación de aceites (Aladedunye, 2014), entre otras.

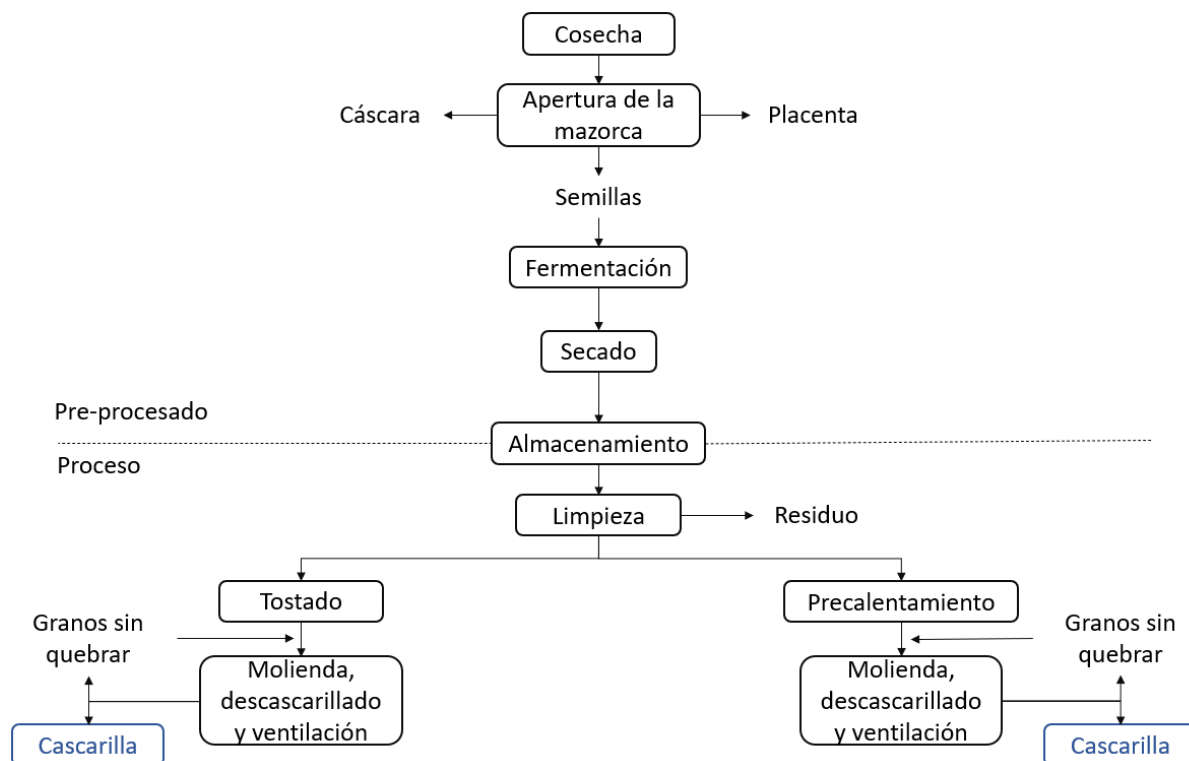


Figura 1. Proceso del cacao

(Okiyama, Navarro, & E.C.Rodrigues, 2017).

Dada esta diversidad de aplicaciones, se hace necesario explorar métodos para la toma de decisión acerca de ¿Cuál de dichas aplicaciones es más viable para la

industria? Definir cuál es la mejor aplicación es un tema que depende de múltiples factores o criterios, que en algunos casos no pueden evaluarse con facilidad dentro de una escala numérica, implicando la introducción de elementos cualitativos. En este sentido, el problema es tomar una decisión multicriterio, para lo cual existen diversos métodos como se expone a continuación.

### **Métodos para la toma de decisiones**

Existen diferentes métodos para tomar decisiones, dentro de ellos se encuentran los métodos de decisión multicriterio, cuya principal ventaja es la capacidad de analizar criterios cualitativos y cuantitativos simultáneamente, donde ambos convertidos a la misma unidad, le otorgan una calificación global a cada alternativa. Algunos de ellos son: *ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite)*, *PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations)*, *TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)* y el método *AHP* (Javanbarg, Scawthorn, Kiyono, & Shahbodaghkhan, 2012). Este último, tiene la ventaja de contar con una estructura integral basada en teoría simple y de fácil operación (Javanbarg, Scawthorn, Kiyono, & Shahbodaghkhan, 2012), lo que la convierte en una herramienta ágil. Adicionalmente, antes de calificar y priorizar alternativas es necesario explorar que hay de nuevo, a través de una herramienta que vincule los resultados obtenidos por la academia con las necesidades industriales, como lo hace la vigilancia tecnológica.

Dada esta falta de conexión entre la academia y la industria y el gran número de aplicaciones existentes para este material, es necesario realizar una vigilancia tecnológica sobre el tema, para después aplicar un *Fuzzy Delphi* que permita encontrar los factores más importantes para que las empresas puedan implementar una aplicación de la cascarilla, teniendo en cuenta que esta metodología podrá ser aplicada en diversos sectores de la agroindustria. Una vez identificados los factores claves, mediante *Fuzzy AHP* se podrá conocer la importancia de cada uno de ellos, para posteriormente construir una jerarquía de opciones donde se observe con

claridad cuáles son las más adecuadas bajo el criterio de los expertos. Con estas metodologías se han desarrollado diversos estudios, sin embargo, no se encuentran relacionados de forma directa con aplicaciones de subproductos agroindustriales en matrices alimentarias, por lo cual se abordará cada una de ellas, vigilancia tecnológica, Delphi, AHP y Fuzzy Logic, para posteriormente estudiar las combinaciones, Fuzzy Delphi y Fuzzy AHP.

Este trabajo empieza con la elaboración de una vigilancia para conocer con mayor detalle el problema, además de “captar, analizar y difundir información, con el fin de identificar oportunidades y amenazas provenientes del entorno, que puedan incidir en el futuro” (Arango, Tamayo, & Fadul, 2012). Es una herramienta clave para generar ventajas competitivas en las organizaciones, con la búsqueda y la manipulación de la información para convertirla en conocimiento (Ospina & Gómez, 2014), lo que favorece la planificación y orientación de las organizaciones, al definir el estado actual y el posible desarrollo futuro del contexto (Cruz, 2018). Esta técnica tuvo origen en la historia colonial, cuando los propietarios llevaban apuntes, notas, cuentas, inventarios, recordatorios y descripciones de las actividades alrededor de la plantación (Luke, 2018). Posteriormente con la información obtenida de la vigilancia se pasa a la fase de *Fuzzy Delphi*.

Antes de profundizar en el *Fuzzy Delphi* es necesario entender en que consiste la lógica difusa (fuzzy Logic), la cual fue desarrollada en 1975 por Lotfy A. Zadeh en la Universidad de Berkeley (California), inicialmente fue conocida como de principio de incompatibilidad (Zadeh, 1994). Este tipo de lógica es una generalización de la lógica clásica, basada en que un conjunto que puede contener infinitos valores entre un rango, no solo cero y uno, sino también 0.1, 0.2, 0.3, etc. Estos valores se asemejan a las variables lingüísticas utilizadas comúnmente, donde existen "grados de verdad", es decir, en lugar de la lógica booleana "verdadera o falsa" (1 ó 0), esta lógica es multievaluada, lo que permite incluir expresiones como bastante alto o muy bajo en una formulación matemática (Mahmudova, 2018).



Por otro lado, en 1950 Dalkey en Rand Corporation desarrolló la técnica Delphi para mejorar el uso de la opinión de expertos en pronósticos tecnológicos (Silveira Junior, Vasconcellos, Vasconcellos, A.Guedes, & Machado, 2018), esto se dió en el contexto de la guerra fría, donde se encontraron deficiencias en las técnicas tradicionales como la exploración de tendencias y los modelos cuantitativos (John-Matthews, Wallace, & Robinson, 2017), en tareas donde no se contaba con datos confiables, por lo cual debían ser estimados porque de lo contrario estas no podrían ser aplicadas (Flostrand, 2017). Con este método diversos autores han logrado desarrollar pronósticos, soluciones u oportunidades, convirtiéndose en una herramienta apropiada para investigar problemas complejos aunque no ofrece el rigor del análisis cuantitativo (Silveira Junior, Vasconcellos, Vasconcellos, A.Guedes, & Machado, 2018). Inicialmente la técnica contenía 5 etapas, sin embargo, desde allí se han generado múltiples variaciones del método (John-Matthews, Wallace, & Robinson, 2017), algunas de ellas son: *Policy Delphi*, *Decision Delphi*, *Electronic Delphi*, *Modified Delphi*, *Ranking Type Delphi*, *Real time Delphi*, entre otros (Strasser, 2017).

Dadas las ventajas que ofrece el método Delphi, la integración del conocimiento de expertos, el anonimato y la retroalimentación, es muy útil para identificar factores de evaluación (Pill, 1971). Sin embargo, es un proceso largo y subjetivo, por lo cual en la literatura se han propuesto diferentes alternativas para optimizar el método, como lo es el Fuzzy Delphi. Este método fue desarrollado por Murray y otros (1985) y tiene dos ventajas fundamentales sobre el método clásico (Murray, Pipino, & van Gigch, 1985), considera la incertidumbre y la ambigüedad del pensamiento subjetivo de los expertos, lo que genera resultados objetivos y razonables, y obtiene informaciones concluyentes a través de una sola ronda de encuestas ahorrando tiempo y costos (Zhang, 2017). Por estas razones, este estudio usará el método Fuzzy Delphi para identificar factores claves en la inclusión de la cascarilla de cacao en alimentos.

Un tercer elemento que se debe abordar es la metodología llamada proceso de jerarquía analítica, o más conocido por sus siglas en inglés como AHP, la cual tiene sus orígenes en la psicología, pero aplica para la solución de cualquier tipo de decisiones complejas por abordar. Con AHP es posible cuantificar prioridades entre las alternativas de forma relativa, teniendo en cuenta que dichas opciones pueden ser tangibles o intangibles, ya que su importancia es otorgada por un grupo de expertos en el tema (Kamal, Al-Subhi, & Al-Harbi, 2001). En 1987 Saaty introdujo el método, al definir los axiomas y los fundamentos teóricos (Saaty, 1987), en proyectos específicamente. Kamal, M., Al-Subhi y Al-Harbi estudiaron el AHP como un método de toma de decisiones en la selección de proveedores, definiendo unos parámetros o criterios establecidos, a partir de los cuales se califica la alternativa para evidenciar la que más se acerca a los requerimientos del proyecto (Kamal, Al-Subhi, & Al-Harbi, 2001).

Si bien el AHP ha sido de gran utilidad para los juicios de quien toma las decisiones, pueden existir algunos problemas cuando la persona responsable no está segura exactamente de sus preferencias, situación que hace necesario evaluar la incertidumbre para lo cual se utiliza la lógica difusa, generando así una variación del método propuesto por Saaty llamada Fuzzy AHP (Kumar, Sakshi, & Kumar, 2018). Con este cambio las variables lingüísticas reflejan verdaderamente los juicios de los expertos, permitiendo que los investigadores obtengan valores precisos y factores de ponderación relevantes (Bagher, Charles, Junji, & Babak, 2012). Este método fue desarrollado por Van Laarhoven y Pedrycz, quienes en 1983 utilizando números difusos triangulares elaboraron el primer Fuzzy AHP (Laarhoven & Pedrycz, 1983). Posteriormente otros autores propusieron muchos otros métodos similares como la función de membresía Trapezoidal o la función de membresía Bell-shape/Gaussian (Kublera, Derigent, Voisin, & Traon, 2016).

El Fuzzy AHP, ha sido aplicado en áreas como gobierno, telecomunicaciones, fabricación de acero, muebles, moldes, textiles, manufactura en general, alimentos,

entre otros (William & Xin, 2018). Específicamente en alimentos Rezaei y Ortt en 2013, realizaron una segmentación de proveedores de acuerdo con su capacidad y disposición, usando un proceso de jerarquía analítica difusa que utiliza relaciones de preferencia para incorporar las ambigüedades e incertidumbres del juicio humano, en una compañía de pollos de engorde (Rezaei & Ortt, 2013). En otros estudios, Rodríguez, Maradei y Escalate (2017), desarrollaron una metodología integrada de Fuzzy AHP basada en SIG (Sistema de información geográfica), con el fin de identificar los mejores sitios para una planta de bioenergía, en el departamento de Santander (Colombia) para tres subproductos de cultivos de cacao evaluados (poda, rechazada y cáscara de vaina de cacao), con lo cual encontraron 12 lugares ideales para instalar una planta (Rodríguez, Gauthier-Maradei, & Escalante, 2017).

Con las metodologías mencionadas combinando Vigilancia tecnológica, con *Fuzzy Delphi* y *Fuzzy AHP* se espera encontrar las principales aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos, como se explica a continuación.

En el mundo de hoy, la toma de decisiones de largo plazo se realiza ante contextos inciertos, lo que dificulta la planeación de algunos procesos y actividades. Ante estos entornos el método de consulta a expertos cobra importancia y combinado con métodos matemáticos adecuados puede enfrentarse a entornos ampliamente complejos (Mallo, y otros, 2007).

El método Delphi tradicional le pide a un panel de expertos que completen un cuestionario y modifiquen sus propias respuestas bajo la retroalimentación de varias rondas de preguntas, a pesar que este método tiene diferentes ventajas al encontrar un consenso entre expertos, existen deficiencias importantes en el proceso, por ejemplo la existencia de múltiples rondas donde se completa un cuestionario disminuye la tasa de respuesta y también el criterio para indicar qué se logró

consenso, es controversial, algunos investigadores adoptan el 50 % mientras otros se acogen al 60 %, 75 % o incluso el 80 % (Lei & Huang, 2018).

Es por estas razones que el uso de herramientas de toma de decisiones multicriterio cobra importancia en este estudio, ya que son técnicas ampliamente estudiadas y en ellas se han incorporado herramientas con la verificación de consistencia, lo que minimiza las influencias subjetivas en la toma de decisiones. “El método Delphi desarrollado en la década de 1950 por la corporación RAND, proporciona beneficios en la evaluación de decisiones tales como: (1) efectividad de la toma de decisiones en ausencia de datos pasados. (2) la encuesta se puede hacer de forma remota sin cara a cara y (3) su utilidad en la predicción futura de nuevas tecnologías o productos”. Sin embargo, existen críticas por su subjetividad, lo que es abordado con la combinación de lógica difusa, que le da estabilidad al resultado obtenido (Mohammad, Ghafar, Rahman, Abdullah, & Mayor, 2019).

Por otro lado, el proceso de jerarquía analítica o AHP por sus siglas en inglés, es uno de los métodos de decisión multicriterio más comúnmente utilizados. En este método, se construye una jerarquía o árbol de decisión, que se encuentra compuesta por un objetivo, los criterios, y finalmente las alternativas de decisión que se tienen. Con el fin de identificar la mejor alternativa, los criterios y subcriterios son comparados por pares por quien desea tomar la decisión, construyendo una matriz de comparaciones, la cual después de calculada con otros elementos numéricos arroja las prioridades que se deben ejecutar (Acar, Beskese, & Tekin, 2018).

Sin embargo, cuando existe incertidumbre, con el método AHP tradicional se pueden tener dificultades para solucionarlo, en ese caso, se ha utilizado la lógica difusa combinada con el AHP para abordar ambigüedades. En este método los números difusos triangulares se comparan de acuerdo con la aplicación que se desee

implementar, son múltiples las posibilidades con esta combinación de lógica difusa con AHP (Sarfaraza, Jenab, & Souza, 2012).

Es así, como la lógica difusa se centra en la solución de sistemas complejos, ya que mientras en la lógica clásica cada declaración solo puede tomar valores de 0 y 1 o de verdadero y falso, en la lógica difusa se pueden incluir otras declaraciones del lenguaje común como mucho mejor o mucho peor, muy bueno o bueno, son valores subjetivos dependiendo de quién los evalué, que a pesar de su imprecisión es tolerable para la lógica difusa, lo que le otorga flexibilidad y reduce la subjetividad (Madžarević, Ivezić, Tanasijević, & Živković, 2020).

El AHP con lógica difusa (o fuzzy AHP), ha sido ampliamente estudiado encontrando múltiples aplicaciones en diferentes campos del conocimiento, una de ellas es la selección de proveedores (Batuhan, 2013). Otros autores como Francisco Rodrigues y sus colegas lo han comparado con el Fuzzy TOPSIS para el mismo fin de selección de proveedores, encontrando favorable el segundo (Rodrigues, Osiro, & Ribeiro, 2014). Adicionalmente, Osman y otros teniendo en cuenta los criterios de tiempo, costo, calidad, seguridad y sostenibilidad ambiental utilizaron el método fuzzy AHP para seleccionar el mejor proyecto (Osman, Abdallah, Reda, & Mohammed, 2014). También se han encontrado múltiples aplicaciones del fuzzy AHP para la toma de decisiones y la inclusión de sentencias que son comunes en el lenguaje verbal le amplían el espectro de sus posibles implementaciones (Gnanavelbabu & Arunagiri, 2017).

# 2

## METODOLOGÍA

### **Vigilancia tecnológica del estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en la industria de alimentos**

En esta fase de búsqueda de información, se investigaron bases de datos científicas, tales como *Scopus* y *Web of Science*, y bases de patentes tales como *lens.org* y *Patentinpiration*, las cuales contienen datos de patentes de diferentes regiones. Tanto los artículos como las patentes obtenidas se analizaron para validar su relación con la aplicación de la cascarilla de cacao en el sector alimentario. También, el análisis se realizó a partir de los instrumentos de las bases de datos. De allí se esperaba obtener la información suficiente para la construcción de formularios y definir las alternativas para quien toma la decisión.

Inicialmente se construyó la ficha de planeación (Ver *Tabla 1*) de la vigilancia, poniendo foco en las aplicaciones de la cascarilla de cacao y definiendo las palabras claves. Una vez construida dicha ficha, se construyeron las ecuaciones de búsqueda para cada una de las bases de datos (Ver *Tabla 2*). Posterior a eso, con base en las ecuaciones construidas se realizaron las investigaciones y teniendo en cuenta los resúmenes y los títulos, se seleccionaron los artículos y las patentes que hacían referencia a la temática objetivo.

Una vez seleccionados los documentos, se procedió a revisarlos extrayendo el año de publicación, las aplicaciones de la cascarilla a la que apunta cada artículo, el método utilizado para dicha aplicación, el origen de las materias primas en los documentos que lo reportaban y un pequeño resumen de los temas abordados por dicho artículo.

Después de recolectar esta información, se procesó para construir las tablas de resultado con las aplicaciones y las referencias correspondientes que se explorarán más a profundidad en los resultados y discusión. Por último, se graficó cada uno de los resultados obtenidos con el fin de enriquecer el análisis utilizando el software *PowerBI*.

*Tabla 1. Ficha de planeación de ejercicio de vigilancia tecnológica*

<b>FICHA PLANEACION DE EJERCICIO DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA</b>	
<b>Fecha de inicio</b>	16/04/2020
<b>Fecha finalización</b>	31/06/2020
<b>Tema a vigilar</b>	Aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos
<b>Objetivo del ejercicio de vigilancia Tecnológica</b>	Diagnosticar mediante vigilancia tecnológica el estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en la industria de alimentos
<b>Alcance del ejercicio de vigilancia tecnológica</b>	Realizar una revisión previa de las oportunidades existentes con la cascarilla de cacao para la industria alimentaria, con el fin de poder aplicar las metodologías propuestas en este trabajo de grado y así determinar la mejor aplicación de ellas
<b>Responsables</b>	Luis Felipe Ruiz Ramirez
<b>Palabras clave</b>	<b>Palabras en español:</b> cacao, cascarilla y alimentos
	<b>Palabras en inglés:</b> <i>cocoa, shell and food.</i>
<b>Fuentes de información estructuradas</b>	Artículos: <i>Scopus</i> y <i>Web of science</i> Patentes: <i>Lens.org</i> y <i>Patentinpiration.com</i>
<b>¿Por qué se hace el ejercicio de vigilancia tecnológica?</b>	Porque actualmente la cascarilla es un subproducto de la agroindustria del chocolate al cual no se le otorga valor agregado

FICHA PLANEACION DE EJERCICIO DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA	
¿Para qué se realiza el ejercicio de vigilancia tecnológica?	Para identificar oportunidades de uso de este material en la industria alimentaria

Tabla 2. Bitácora de vigilancia tecnológica.

Bitácora Vigilancia tecnológica				
<b>Tema a vigilar</b>	Aplicaciones de la cascarilla de cacao en el sector alimentario			
<b>Objetivo</b>	Diagnosticar mediante vigilancia tecnológica el estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en la industria de alimentos			
<b>Factores Claves</b>	Cacao, Cascarilla y Alimentos			
Fecha	Base de Datos/Página web	Ecuación de Búsqueda	Número de Resultados	Documentos Revisados
16/04/2020	Scopus	TITLE-ABS-KEY (cocoa AND shell AND food) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar" ) )	82	23
22/04/2020	Web of science	Buscó: TODOS LOS CAMPOS: (Cocoa Shell AND Food) Refinado por: TIPOS DE DOCUMENTOS: ( ARTICLE )	85	25
28/04/2020	Lens.org	Patents (79) = ( Title: "Cocoa Shell" OR ( Abstract: "Cocoa Shell" OR Claims: "Cocoa Shell" ) ) AND ( Title:	79	24



Bitácora Vigilancia tecnológica				
		Food OR ( Abstract: Food OR Claims: Food ) )		
7/05/2020	<i>Patentinspiration.com</i>	Patents with "Cocoa Shell" AND food in Title or Abstract	31	12

**Evaluación mediante la metodología *Fuzzy Delphi* los factores clave encontrados en la vigilancia tecnológica para la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos**

Una vez realizada la vigilancia y haber encontrado los factores claves, se procedió con la metodología *Fuzzy Delphi*, para lo cual se debe definir el perfil del experto, se debe construir una base de datos y un cuestionario como se expone a continuación.

- Perfil experto:

Personal investigativo de la agroindustria alimentaria, con dominio del español y que tenga conocimientos previos sobre las tecnologías abordadas. Para ello se podrán incluir entonces, investigadores tanto del área agroindustrial como del área alimentaria de diferentes países, especialmente los hispanohablantes, como América Latina y España.

- Construcción de la base de datos:

Para la construcción de la base de datos se consultaron diferentes fuentes, una fue la base de datos de grupos de investigación de Minciencias (Ministerio de ciencia, tecnología e innovación), allí se identificaron aquellos grupos que estudiaban el área de interés, otro fue las bases de datos de investigadores de Perú (CONCYTEC, Consejo nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica), donde también se acotó la búsqueda en aquellos interesados en agroindustria y alimentos. Por último, se acudió a artículos científicos sobre el tema que permitieran recolectar las

direcciones de correo electrónico de los expertos. También, se consultaron otras bases de datos como las de Ecuador (SENESCYT, Secretaría de educación superior, ciencia, tecnología e innovación), Argentina (SICYTAR, Sistema de información de ciencia y tecnología argentino) y Chile (CONICYT, Comisión nacional de investigación científica y tecnológica), sin embargo, allí no se encontró la información buscada.

En total se construyó una base de datos de 101 expertos de diferentes países, a los cuales se les hizo llegar el cuestionario que se presenta a continuación. Para la construcción de dicho formulario se tuvieron en cuenta tres secciones, una sobre las tecnologías, la segunda sobre los criterios para seleccionar dichas tecnologías y la tercera para identificar el nivel de experticia de quien responde el cuestionario.

En la primera se incluyeron las 4 tecnologías que fueron identificadas como las más estudiadas en la vigilancia, por ser aquellas sobre las cuales existía mayor documentación académica. En la segunda se incluyeron los criterios también identificados en la fase de vigilancia y bajo criterio del investigador como los que mejor caracterizaban cada una de las tecnologías, y en la tercera los conocimientos del experto en el tema abordado. En cada una de las preguntas se incluyeron 7 variables lingüísticas que se explican más a profundidad en el tratamiento de los datos.

- Cuestionario:

<b>Tecnologías para transformar la cascarilla de cacao</b>
Con este estudio se pretende definir al año 2025 la tecnología más apropiada para transformar la cascarilla de cacao en un ingrediente para alimentos.
<u>Descripción de tecnologías a evaluar en el estudio</u>
<b>Extracción con solventes:</b> Separación de un compuesto aprovechando las diferencias de solubilidad.
<b>Alcalinización:</b> Proceso que disminuye la cantidad de ácido en una solución.
<b>Desfibrilación mecánica:</b> Proceso de agitación mecánica en un medio químico para separar las fibras de un material.
<b>Fluidos supercríticos:</b> Método de extracción basado en condiciones de presión y temperatura.
<b>Escalabilidad</b>

### **Tecnologías para transformar la cascarilla de cacao**

En las preguntas 1 a 4 califique que tan alta es la escalabilidad de cada una de las siguientes tecnologías:

1. Extracción con solventes.
2. Alcalinización.
3. Desfibrilación mecánica.
4. Fluidos supercríticos.

#### **Riesgo ambiental de la tecnología**

En las preguntas de la 5 a la 8 califique que tan alto es el riesgo ambiental de cada una de las siguientes tecnologías:

5. Extracción con solventes.
6. Alcalinización.
7. Desfibrilación mecánica.
8. Fluidos supercríticos.

#### **Riesgo humano de la tecnología**

En las preguntas de la 9 a la 12 califique que tan alto es el riesgo humano de cada una de las siguientes tecnologías:

9. Extracción con solventes.
10. Alcalinización.
11. Desfibrilación mecánica.
12. Fluidos supercríticos.

#### **Afinidad con la industria de alimentos**

En las preguntas 13 a la 16 califique que tan afín es cada una de las siguientes tecnologías a la industria de alimentos:

13. Extracción con solventes.
14. Alcalinización.
15. Desfibrilación mecánica.
16. Fluidos supercríticos.

#### Descripción de criterios utilizados

**Escalabilidad:** Posibilidad de pasar de procesar de pequeñas a grandes cantidades de cascarilla con la tecnología evaluada.

<b>Tecnologías para transformar la cascarilla de cacao</b>
<p><b>Riesgo ambiental:</b> Impactos que puede generar una tecnología de procesamiento de cascarilla sobre el medio ambiente.</p> <p><b>Riesgo social:</b> Impactos que puede generar una tecnología de procesamiento de cascarilla sobre las personas.</p> <p><b>Afinidad con la industria de alimentos:</b> Hace referencia a qué tan factible es utilizar dicha tecnología para la industria de alimentos.</p> <p><b>Importancia de los criterios</b></p> <p>En las preguntas 17 a la 20 califique que tan importante le parece cada criterio para la evaluación de las tecnologías de transformación de la cascarilla de cacao.</p> <p>17. Escalabilidad</p> <p>18. Riesgo ambiental</p> <p>19. Riesgo humano</p> <p>20. Afinidad con la industria de alimentos</p>
<p><b>Nivel de experticia</b></p> <p>Las siguientes preguntas son utilizadas para definir su grado de experticia en el tema</p> <p>21. Califique de 1 a 10 su grado de experticia en el tema abordado.</p> <p>22. A continuación, califique si ha estudiado trabajos sobre el tema.</p> <p>23. A continuación, califique sus conocimientos propios sobre el tema.</p> <p>24. A continuación, califique su nivel de experiencia en el tema.</p> <p>25. A continuación, agregue sus comentarios y recomendaciones sobre el estudio.</p>
<p>Gracias por sus respuestas</p>

- Tratamiento de los datos:

Para el tratamiento de datos de acuerdo con la metodología propuesta por Chang, Hsu y Chang en 2011 se siguieron los siguientes pasos con el fin de identificar prioridades entre las tecnologías estudiadas (Chang, Hsu, & Chang, 2011).

Paso 1: Asumir que  $k$  expertos son invitados a determinar la importancia de los criterios de evaluación y las razones de alternativas con respecto a varios criterios usando variables lingüísticas como se presenta en las Tablas 3 y 4.

*Tabla 3. Variables lingüísticas para la importancia del peso del criterio  
(Chang, Hsu, & Chang, 2011)*

Variable lingüística	Escala difusa
Muy importante	(0.0,0.0,0.1)
Importante	(0.0,0.1,0.3)
Medianamente importante	(0.1,0.3,0.5)
Medio	(0.3,0.5,0.7)
Medianamente no es importante	(0.5,0.7,0.9)
No es importante	(0.7,0.9,1.0)
No importa para nada	(0.9,1.0,1.0)

*Tabla 4. Variables lingüísticas para las razones de alternativas  
(Chang, Hsu, & Chang, 2011)*

Variable lingüística	Escala difusa
Muy alto	(0.0,0.0,0.1)
Alto	(0.0,0.1,0.3)
Medianamente alto	(0.1,0.3,0.5)
Medio	(0.3,0.5,0.7)
Medianamente bajo	(0.5,0.7,0.9)
Bajo	(0.7,0.9,1.0)
Muy bajo	(0.9,1.0,1.0)

Paso 2: Convertir las variables lingüísticas en números triangulares difusos como sugieren la Tabla 3 y 4. Los números difusos  $r_{ij}$  es el ratio de la alternativa  $i$  con

respecto al criterio  $j$  y  $w_j$  es el  $j$ -ésimo criterio del peso del  $k$ -ésimo experto con  $i=1, \dots, m; j=1, \dots, n; k=1, \dots, K$ , se calculan como se presenta en las ecuaciones 1 y 2:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{r}_{ij}^1 \oplus \tilde{r}_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_{ij}^K] \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 \oplus \tilde{w}_j^2 \oplus \dots \oplus \tilde{w}_j^K] \quad \text{Ecuación 2.}$$

En las ecuaciones 1 y 2 las reglas de operación para dos números difusos triangulares  $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3)$  y  $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$  son las siguientes:

$$\begin{aligned} \tilde{m} \oplus \tilde{n} &= (m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3), \tilde{m} \otimes \tilde{n} \\ &= (m_1 n_1, m_2 n_2, m_3 n_3), a \otimes \tilde{m} = (a m_1, a m_2, a m_3), a > 0. \end{aligned}$$

Paso 3: Para cada experto se debe computar la distancia entre el  $r$  promedio y el  $r$  de cada experto y la distancia entre el criterio promedio y el criterio de cada experto, para cada uno de los expertos. La distancia entre dos números difusos  $\tilde{m} = (m_1, m_2, m_3)$  y  $\tilde{n} = (n_1, n_2, n_3)$  es computada por la ecuación 3:

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2]}. \quad \text{Ecuación 3.}$$

Paso 4: Si la distancia entre el promedio y los datos de evaluación de expertos es menor que el valor de 0,2, entonces se considera que llegaron a un consenso. Ahora bien, si el porcentaje de consenso es mayor al 75 % ir al paso 5, de lo contrario se requiere una segunda ronda.

Paso 5: Agregar las evaluaciones difusas mediante:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \begin{bmatrix} \tilde{A}_1 \\ \tilde{A}_2 \\ \vdots \\ \tilde{A}_m \end{bmatrix} \\ i &= 1, \dots, m \quad \text{Ecuación 4.} \end{aligned}$$

Donde

$$\tilde{A}_i = \tilde{r}_{i1} \otimes \tilde{w}_1 \oplus \tilde{r}_{i2} \otimes \tilde{w}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_{in} \otimes \tilde{w}_n.$$

Paso 6: para cada alternativa, la evaluación difusa es:

$\tilde{A}_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3})$  La cual se extrae de la lógica difusa mediante la ecuación 5:

$$a_i = \frac{1}{4}(a_{i1} + 2a_{i2} + a_{i3}). \quad \text{Ecuación 5.}$$

El ranking del orden de alternativas puede ser determinado de acuerdo con los valores de  $a_i$ .

- Cálculo del coeficiente K:

Para determinar el nivel de experticia de cada uno de los expertos, Zartha y otros en el 2014 utilizaron la metodología que se enuncia a continuación (Zartha, Montes, Toro, & Villada, 2014):

El coeficiente k se utiliza para determinar desde el punto de vista del experto ¿Cuál es su nivel de conocimiento sobre el problema de investigación planteado?, El coeficiente se calcula de la siguiente forma:  $K = \frac{1}{2}(k_c + k_a)$  Ecuación 6.

Donde:

$k_c$ : Es el coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto acerca del tema o problema planteado. Es calculado a partir de la valoración que realiza el propio experto en la escala del 0 al 10, multiplicado por 0.1.

$k_a$ : Es el coeficiente de argumentación. El cual se obtiene con la asignación de puntuaciones por el experto, en la *Tabla 5* se especifican cada una de ellas.

*Tabla 5. Valores del coeficiente de argumentación (Cabero & Barroso, 2013).*

Criterios	Alto	Medio	Bajo
Estudio en el tema	0.3	0.2	0.1
Conocimientos propios	0.2	0.1	0.05
Experiencia en procesos similares	0.5	0.4	0.2

Con los valores finales obtenidos se clasifican los expertos en tres grupos:

- Si K es mayor a 0.8, mayor o menor o igual a 1: entonces hay influencia alta de todos los expertos.
- Si K es mayor o igual que 0.7, menor o igual a 0.8: entonces hay influencia media de todos los expertos.
- Si K es mayor o igual a 0.5, menor o igual a 0.7 entonces hay influencia baja de todos los expertos.

**Definición mediante la metodología Fuzzy AHP, la importancia de cada uno de los factores clave para la evaluación de la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos**

Una vez realizada la evaluación mediante Fuzzy Delphi se procede a la definición cuantitativa mediante Fuzzy AHP y la importancia de cada uno de los factores, para ello inicialmente se construyó el perfil del tomador de la decisión, luego se definió la metodología de la entrevista y posteriormente el cuestionario que cada uno debió diligenciar como se explica a continuación.

- Perfil del tomador de la decisión:  
En la industria del chocolate donde se produce la cascarilla de cacao como subproducto, los equipos de investigación y desarrollo buscan darles a los subproductos valor agregado, lo que coincide con el propósito de esta investigación, es por eso por lo que los expertos seleccionados para ser los tomadores de decisión de este estudio fueron expertos en el área de proyectos para la industria de alimentos.
- Metodología de la entrevista:  
La entrevista fue hecha de forma virtual, con tres secciones, en la primera se explican los resultados obtenidos en la investigación hasta el momento y las aplicaciones identificadas en el proceso, en la segunda se le realiza al experto una serie de preguntas abiertas y comentarios sobre la investigación que ayuden a enriquecer el análisis, la tercera es una serie de preguntas cerradas al respecto que tienen como finalidad construir la matriz de comparación de los criterios.



En la presentación sobre los hallazgos encontrados, se habló inicialmente de los objetivos del proyecto de investigación, posteriormente de 10 tecnologías encontradas en la vigilancia, para las aplicaciones de la cascarilla de cacao y después de las 4 tecnologías más estudiadas.

Después de realizar la presentación se realizaron las siguientes preguntas abiertas, y se abrió el espacio para comentarios del tomador de decisión.

1. ¿Cuál aplicación le llamó más la atención? Y ¿Por qué?
2. ¿Cuál de las tecnologías estudiadas le parece más viable para la aplicación de la cascarilla de cacao en alimentos?
3. ¿Qué opina de los criterios seleccionados para este estudio?
4. ¿Tendría en cuenta otros criterios para tomar la decisión?
5. ¿Qué comentarios y recomendaciones tiene para futuros trabajos sobre el tema?

Por último, después de una contextualización, se le envió al tomador de la decisión el cuestionario necesario para construir la matriz de comparación de criterios, el cual se presenta a continuación:

### **Comparación de criterios**

A continuación, encontrará una serie de preguntas que pretende identificar ¿qué tan importantes son para usted los criterios a la hora de seleccionar un proyecto? Tenga en cuenta que la metodología seguida compara los criterios por pares.

Criterios para la selección de proyectos
ESCALABILIDAD: Posibilidad de pasar de procesar de pequeñas a grandes cantidades de cascarilla con la tecnología evaluada.
RIESGO AMBIENTAL: Impactos que puede generar una tecnología de procesamiento de cascarilla sobre el medio ambiente.

<p>Criterios para la selección de proyectos</p>
<p>RIESGO SOCIAL: Impactos que puede generar una tecnología de procesamiento de cascarilla sobre las personas.</p> <p>AFINIDAD CON LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS: Hace referencia a qué tan factible es utilizar dicha tecnología para la industria de alimentos.</p> <p>COSTO DE LA TECNOLOGÍA: Valor económico de adquirir los equipos necesarios para ejecutar dicho proceso.</p>
<p>1. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante?</p> <p>Escalabilidad</p> <p>Riesgo ambiental</p> <p>Igualmente, importantes</p>
<p>2. ¿Qué tan importante es la escalabilidad respecto al riesgo ambiental?</p> <p>Escala de 1 a 9.</p>
<p>3. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante?</p> <p>Escalabilidad</p> <p>Riesgo humano</p> <p>Igualmente, importantes</p>
<p>4. ¿Qué tan importante es la escalabilidad respecto al riesgo humano?</p> <p>Escala de 1 a 9.</p>
<p>5. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante?</p> <p>Escalabilidad</p> <p>Afinidad con la industria de alimentos</p> <p>Igualmente, importantes</p>
<p>6. ¿Qué tan importante es la escalabilidad respecto a la afinidad con la industria de alimentos? Escala de 1 a 9.</p>
<p>7. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante?</p> <p>Escalabilidad</p> <p>Costo de la tecnología</p>

Criterios para la selección de proyectos
Igualmente, importantes
8. ¿Qué tan importante es la escalabilidad respecto al costo de la tecnología? Escala de 1 a 9.
9. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante? Riesgo ambiental Riesgo humano Igualmente, importantes
10. ¿Qué tan importante es el riesgo ambiental respecto al riesgo humano? Escala de 1 a 9.
11. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante? Riesgo ambiental Afinidad con la industria de alimentos Igualmente, importantes
12. ¿Qué tan importante es el riesgo ambiental respecto a la afinidad con la industria de alimentos? Escala de 1 a 9.
13. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante? Riesgo ambiental Costo de la tecnología Igualmente, importantes
14. ¿Qué tan importante es el riesgo ambiental respecto al costo de la tecnología? Escala de 1 a 9.
15. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante? Riesgo humano Afinidad con la industria de alimentos Igualmente, importantes
16. ¿Qué tan importante es el riesgo humano respecto a la afinidad con la industria de alimentos? Escala de 1 a 9.
17. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante? Riesgo humano Costo de la tecnología

Criterios para la selección de proyectos
Igualmente, importantes 18. ¿Qué tan importante es el riesgo humano respecto al costo de la tecnología? Escala de 1 a 9.
19. ¿Cuál de los siguientes criterios considera más importante? Afinidad con la industria de alimentos Costo de la tecnología Igualmente, importantes
20. ¿Qué tan importante es la afinidad con la industria de alimentos respecto al costo de la tecnología? Escala de 1 a 9. Muchas gracias por sus respuestas.

- Tratamiento de los datos:

Después de haber entrevistado al tomador de la decisión, se incluyó la metodología para el tratamiento de los datos, la cual fue tomada de la presentación *Análisis Multicriterio para Problemas Discretos* de la profesora Faviana Gutiérrez Roa de la Universidad Nacional (Gutiérrez, 2017).

#### Paso 1: Árbol jerárquico

Cosiste en: un objetivo, criterios y subcriterios y alternativas. El objetivo es donde se enuncia lo que se desea alcanzar y se encuentra en el primer nivel, en el segundo nivel se encuentran los criterios que son los diferentes puntos de vista que se deben tener en cuenta para que las alternativas respondan al objetivo, y en el último nivel se encuentran las alternativas, las cuales son las posibilidades existentes para alcanzar el objetivo.

#### Paso 2: Matriz de comparación

El tomador de decisión debió darle valores numéricos para identificar cómo cada elemento contribuye al nivel superior. Para ello, se deben comparar pares de

criterios de un nivel, diciendo cuanto es más importante uno en relación con otro del mismo nivel.

Para otorgarle valores numéricos Saaty propone la escala que se presenta en la *Tabla 7*.

*Tabla 6. Escala numérica*  
(Gutiérrez, 2017).

<b>Escala numérica</b>	<b>Escala Verbal</b>
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia.
3	Débil o moderada importancia de uno sobre el otro.
5	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre el otro.
7	Importancia demostrada de un criterio sobre otro.
9	Importancia absoluta de un criterio sobre otro.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.

Dichas comparaciones se incluyen en la Matriz de Comparaciones la cual es una matriz cuadrada como la siguiente. [A] es una matriz nxn, donde  $a_{ij}$  es la medida subjetiva de la importancia relativa del criterio  $i$  frente al  $j$ :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

*Ecuación 6.*

### Paso 3: Matriz de decisión (*Trade off*)

Se construye la matriz mxn que compara un numero de alternativas  $A_i, i=1, \dots, m$ , con los criterios de evaluación  $C_j, j=1, \dots, n$  del último nivel, definidos previamente en el paso 1. Para cada criterio se hace una valoración de las consecuencias de las alternativas  $X_{ij}$  como se presenta en la *Tabla 8*.

Tabla 7. Matriz de decisión  
(Gutiérrez, 2017).

ALTERNATIVAS	CRITERIOS					
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>j</sub>	...	C <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	...	X <sub>1j</sub>	...	X <sub>1n</sub>
A <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	...	X <sub>2j</sub>	...	X <sub>2n</sub>
...	...	...	...	...	...	...
A <sub>i</sub>	X <sub>i1</sub>	X <sub>i2</sub>	...	X <sub>ij</sub>	...	X <sub>in</sub>
...	...	...	...	...	...	...
A <sub>m</sub>	X <sub>m1</sub>	X <sub>m2</sub>	...	X <sub>mj</sub>	...	X <sub>mn</sub>

Si los criterios persiguen diferentes objetivos, (maximizar o minimizar) y son de naturaleza diferente entre sí, es preciso normalizarlos por medio de la ecuación 7:

$$X_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i^{\min}}{X_i^{\max} - X_i^{\min}} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Desde dicha información, se debe continuar evaluar los indicadores de consistencia y determinar las evaluaciones totales de las alternativas.

- Tratamiento difuso de los datos:

La metodología para el tratamiento difuso de los datos fue tomada de la presentación de *Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) - Using Geometric Mean*, del profesor Manoj Mathew (Mathew, 2018).

Paso 1: Matriz de comparación con ayuda de la escala de importancia relativa.

Como en el AHP explicado anteriormente se construye la matriz de comparación de criterios, con la diferencia que la escala de comparación relativa está dada en números difusos triangulares como se presenta en la *Tabla 9*.

Tabla 8. Escala de importancia en números triangulares  
(Mathew, 2018)

Escala verbal	Escala numérica	Escala triangular
Igual importancia	1	(1,1,1)
Débil importancia	3	(2,3,4)
Importancia fuerte	5	(4,5,6)
Importancia demostrada	7	(6,7,8)
Importancia absoluta	9	(9,9,9)
Valores intermedios	2	(1,2,3)
	4	(3,4,5)
	6	(5,6,7)
	8	(7,8,9)

Para reemplazar los inversos se utiliza la *Ecuación 8*:

$$\tilde{A}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l}\right) \text{ Ecuación 8.}$$

Paso 2: Calcular la media geométrica difusa.

Esta media en números triangulares se calcula como la multiplicación de dichos números, elevados a la raíz del número de criterios que se tenga, en la Ecuación 9 se explica cómo multiplicar números triangulares.

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2) \text{ Ecuación 9.}$$

Paso 3: Se calculan los pesos difusos.

Para calcular dichos pesos se utiliza la *Ecuación 10*.

$$\tilde{W}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_i \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n) \text{ Ecuación 10.}$$

Para ello, primero se deben sumar los números triangulares como se observa en la *Ecuación 11*.

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \text{ Ecuación 11.}$$

Paso 4: Quitar la lógica difusa.

Para quitar la lógica difusa se utiliza la *Ecuación 12*.

$$\text{Centro de área (COA)}w_i = \left( \frac{\text{min, promedio, max}}{3} \right) \text{Ecuación 12.}$$



# 3

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Vigilancia tecnológica del estado actual de las aplicaciones de la cascarilla de cacao en la industria de alimentos

Los resultados obtenidos en cuanto a publicaciones académicas sobre el tema arrojaron que el interés por las aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos ha sido creciente, alcanzando un punto máximo en el 2019, año durante el cual en *Scopus* se publicaron más de 20 artículos sobre esto y en *Web of science* más de 10 artículos (Ver: *Figura 4*). La región donde más se ha publicado sobre el tema es Italia, seguido de Alemania y España (Ver: *Figura 5*). Adicionalmente, el área del conocimiento donde más se ha explorado sobre el tema es en agricultura con un 35 % de las publicaciones realizadas en *Scopus*, seguido de Química (13 %) y Bioquímica (8 %) (Ver: *Figura 6*).



*Figura 2. Publicaciones en el tiempo*



Figura 3. Publicaciones por región

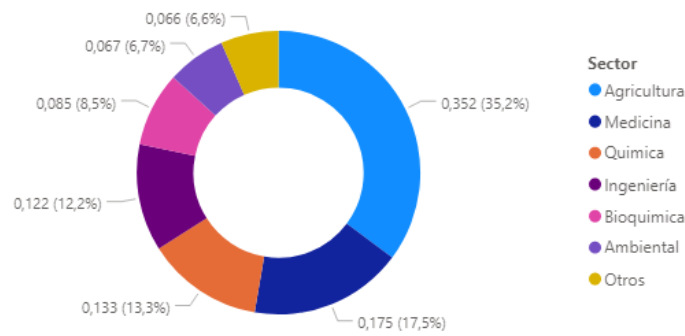


Figura 4. Publicaciones por área del conocimiento

En 167 de los artículos revisados se encontró que 48 hablaban de aplicaciones de la cascarilla o sus componentes en alimentos, de ahí se agruparon en 14 conjuntos como se muestra en la *Tabla 10*. En esos 48 artículos se identificó que 14 salían tanto en *Scopus* como en *Web of Science*.

Tabla 9. Grupos de aplicaciones de la cascarilla o sus componentes Artículos.

Aplicación	Fuentes
Encapsular proteína	(Jokic´, y otros, 2020)
Teobromina y cafeína	(Pavlovic, Jokic, Jakovljevic´, Blažic´, & Molnar, 2020), (Grillo, y otros, 2019) , (Jokic´, Gagic´, Knez, Šubaric´, & Škerget, 2018), (Jokić, y otros, 2019), (Okiyama, y otros, 2018)

Catequinas, epicatequinas y ácido gálico	(Flanjak, y otros, 2018), (Rossin, y otros, 2019)
Fibra dietaria	(Handojo, Triharyogi, & Indarto, 2019), (J., N., H.Y., & Y.S., 2019), (Martínez, y otros, 2012), (Redgwella, y otros, 2002), (Barišića, y otros, 2020), (Vojvodic, Komes, Vovk, Belscak, & Busic, 2016) , (Nsor & Zhong, 2012), (Collar, Rosell, Mugerza, & Moulay, 2008)
Aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos	(Barbosa-Pereiraa, Rojo-Povedaa, Ferrocino, Giordano, & Zeppa, 2019)
Moléculas con potencial alimenticio	(Vasquez, y otros, 2019)
Bebida funcional	(Poveda, y otros, 2019)
Compuestos bioactivos	(Barbosa-Pereira, Guglielmetti, & Zeppa, 2017)
Pectina y polifenol	(Bruna, Eichholz, Röhn, & Kroh, 2009)
Antioxidantes	(Amin & Mukhrizah, 2006), (Yanishlieva & Marinova, 2001), (Azizah, Nik, & Swee, 1999), (BRACCO, LOLIGER, & VIRET, 1981), (Putri, Nadzirah, & Hussain, 2018), (Manzano, y otros, 2017), (Quijano-Avile, Lisbeth, Suárez, & Délida, 2016)
Estabilizante	(Mellinas, Jiménez, & Garrigós, 2019)
Antiinflamatorio y resistencia a la insulina	(Rebollo-Hernanz, Zhang, Aguilera, Martín-Cabrejas, & Gonzalez, 2019)
Nano-celulosa	(Oliveira, y otros, 2019)
Grasa	(González-Alejo, Barajas, Olán, Mercedes, & García, 2019)

En la Tabla 10 se observan 14 posibles aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos encontradas en artículos académicos, a continuación, se explicarán cada

una de ellas con mayor profundidad, para alcanzar una mejor comprensión de la temática y las amplias posibilidades que existen con este material.

- Encapsular proteína:

Con la finalidad de conservar las propiedades y la estabilidad de los extractos de cascarilla de cacao, Joki'c y otros investigadores en el 2020 realizaron un estudio, donde probaron encapsular la cascarilla con proteína de suero y con maltodextrina, obteniendo mejores resultados con la proteína de suero y concluyendo que el secado por atomización con proteína de suero se puede utilizar para obtener extractos en polvo de cascarilla de cacao de alta calidad (Jokic', y otros, 2020).

- Teobromina y cafeína:

Se encontró a través de la revisión de la información que algunos autores han extraído teobromina y cafeína de la cascarilla de cacao empleando diferentes métodos. Pavlovic y otros utilizaron en 2020 extracción con solventes y microondas obteniendo entre 2 y 4 mg de teobromina por cada g de materia prima y de cafeína ente 0,6 y 1,5 mg por cada g de materia prima (Pavlovic, Jokic, Jakovljevic', Blažic', & Molnar, 2020). Así mismo, Grillo y otros utilizaron el ultrasonido y la cavitación con solventes obteniendo 32 mg de teobromina por gramo de materia prima y 1,7 mg de cafeína por un gramo de materia prima (Grillo, y otros, 2019).

- Catequinas, epicatequinas y ácido gálico:

En 2018 Flanjak y otros utilizaron el tratamiento de descarga eléctrica de alto voltaje con agua y a diferentes frecuencias para realizar procesos de extracción de teobromina, cafeína, catequinas y epicatequinas obteniendo de estas dos últimas 0,6 y 0,16 mg por cada gramo de materia prima (Flanjak, y otros, 2018).

- Fibra dietaría:

Handojo, Triharyogi, & Indarto en 2019 construyeron un trabajo para la extracción de fibra a partir de la cascarilla de cacao, en este proceso utilizaron la alcalinización ajustando el pH y después realizaron un cernido para incluir esta fibra en galletas, obteniendo como resultado que este material se puede utilizar para sustituir harina y mejorar la alimentación (Handojo, Triharyogi, & Indarto, 2019).

- Aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos:

La cascarilla de cacao procesada por microextracción utilizando cromatógrafo de gases comprobó la presencia de aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos en la cascarilla de cacao, comprobando su gran potencial para ser utilizado como ingrediente para alimentos funcionales debido a sus propiedades nutricionales y de sabor (Barbosa-Pereira, Rojo-Poveda, Ferrocino, Giordano, & Zeppa, 2019).

- Grasa:

Bajo la premisa del bajo valor comercial de la cascarilla de cacao Gonzalez, Barajas, Olán, Mercedes y García en 2019, decidieron utilizar extracción por fluidos supercríticos para extraer la grasa y otros componentes de la cascarilla de cacao con una eficiencia de 94 %, estableciendo las bases para este proceso de extracción (González-Alejo, Barajas, Olán, Mercedes, & García, 2019).

- Moléculas con potencial alimenticio:

Bajo la preocupación de que cerca del 80 % del fruto de cacao es descartado como biomasa, incluyendo la cascarilla de cacao, esta investigación habla de las aplicaciones biotecnológicas en alimentos, industria farmacéutica e industria cosmética (Vásquez, P., Neto, & Pareira, 2019).

- Bebida funcional:

La cascarilla de cacao que representa entre el 12 % y el 20 % del grano fue utilizada para formular una bebida funcional con propiedades antioxidantes y

antidiabéticas, teniendo resultados satisfactorios para seis técnicas caseras de preparación de la bebida, otorgándole valor agregado y una aplicación con gran potencial a este material (Poveda, y otros, 2019).

- Compuestos bioactivos:

Barbosa, Guglielmetti y Zappa en el 2017 estudiaron la extracción de polifenoles y metilxantinas encontrando que la presencia de estos componentes y la capacidad antioxidante del material dependían del origen, la variedad y el procesamiento industrial del material (Barbosa-Pereira, Guglielmetti, & Zeppa, 2017).

- Pectina y polifenoles:

En un estudio realizado en el 2009 por Bruna, Eichholz y otros, investigaron sobre la presencia de polifenoles y pectinas en cascarillas de cacao de diferentes procedencias, encontrando que si bien la concentración de estos componentes dependía de las características del suelo, el clima y otros factores, la cascarilla constituye una fuente económica de ambas sustancias (Bruna, Eichholz, Röhn, & Kroh, 2009).

- Antioxidantes:

Amin y Mukhrizah en 2006 evaluaron la capacidad antioxidante de diversas materias primas, dentro de ellas la cascarilla de cacao, demostrando que la guayaba rosada, la semilla de roselle y la cáscara de cacao son fuentes potenciales de componentes antioxidantes que pueden usarse como agentes conservantes de alimentos (Amin & Mukhrizah, 2006).

- Estabilizante:

Mellinas, Jiménez y Garrigós usaron la cascarilla de cacao en 2019 para darle estabilidad a una mezcla para extraer mediante microondas selenio, lo que después corroboraron con espectroscopia infrarroja, encontrando un excelente rendimiento de este, abriendo las posibilidades para aplicaciones en sectores

como el alimentario, el médico o el farmacéutico (Mellinas, Jiménez, & Garrigós, 2019).

- Antinflamatorio y resistencia a la insulina:

La cascarilla de cacao, la de café y otros materiales fueron estudiados con el fin de identificar la posibilidad de reducir la inflamación y la resistencia a la insulina, encontrando sustancias como ácidos que lograron reducir los marcadores inflamatorios, la acumulación de lípidos y mejoraron las vías de recepción de insulina, aumentando la absorción de glucosa (Rebollo-Hernanz, Zhang, Aguilera, Martín-Cabrejas, & Gonzalez, 2019).

- Nanocelulosa:

Oliveira y otros utilizaron la desfibrilación mecánica para extraer nano fibras de celulosa de la cascarilla de cacao, identificando que efectivamente esta es una nueva fuente de producción de nanocelulosa (Oliveira, y otros, 2019).

En cuanto a los desarrollos tecnológicos protegidos sobre el tema, se encontraron un total de 110 patentes de invención, de las cuales se identificó que 36 se relacionaban con la temática específica, repartidas en *Lens.org* y *Patentinspiration*. En la búsqueda se identificaron algunas duplicidades al traer con los buscadores resultados de diferentes regiones, patentes de una misma familia.

En la *Figura 7* se observan las curvas de publicaciones en el tiempo tanto para Lens, como para Patentinspiration, obteniendo un pico marcado de publicaciones en el 2010 para ambas bases de datos. Los demás años las publicaciones se han mantenido en un rango entre 2 y 6 cada año, por lo que se podría señalar que son constantes los desarrollos y no se ha perdido el interés en el tema de estudio, sin embargo, debido a las diferencias entre las ecuaciones estas no son comparables. Por otro lado en la *Figura 8* se observan las publicaciones por industria de acuerdo con la base de datos

de *Patentinspiration*, siendo Kraft food con 29 aplicaciones el que mas desarrollos tiene, seguido por Mars (11) y Barry Callebaut (10).

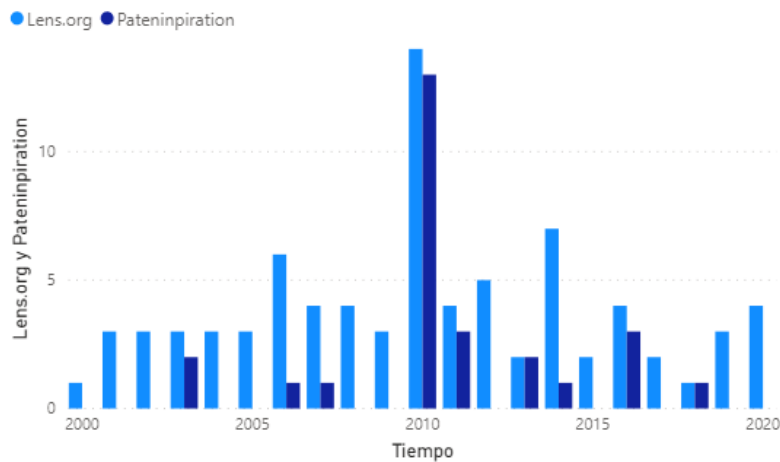


Figura 5. Patentes en el tiempo

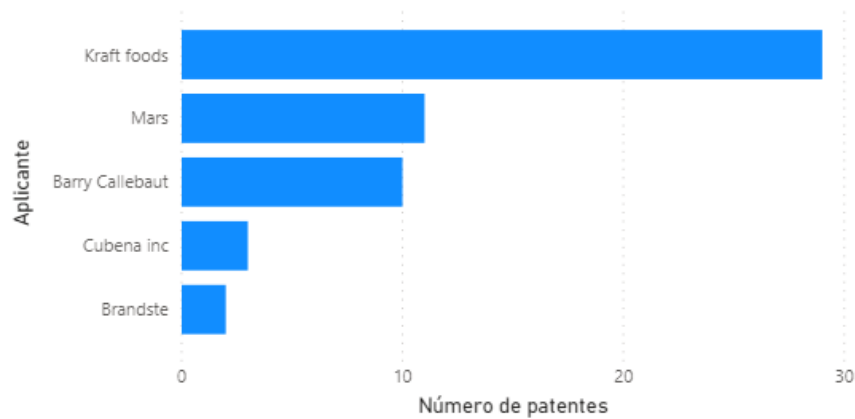


Figura 6. Patentes por aplicante

De estas publicaciones se identificó en *Patentinspiration* que se dividían en 4 grupos temáticos de acuerdo con las bases de datos: necesidades humanas, operaciones y transporte, química y nuevas tecnologías. Para esta vigilancia cuyo objeto de estudio son las aplicaciones alimentarias, se hace necesario hacer énfasis en el grupo de necesidades humanas, donde se encuentran patentes relacionadas con alimentos, productos lácteos, productos de cacao, entre otros. En la *Tabla 11* se muestran los grupos de aplicaciones de la cascarilla y sus respectivas fuentes.



Tabla 10. Grupos de aplicaciones de la cascarilla o sus componentes Patentes.

Aplicaciones	Fuentes
Sabor	(US Patente nº 0151098A1, 2011), (EP Patente nº 2174557A1, 2010), (EP Patente nº 2174555B1, 2014), (JP Patente nº 2014176394A, 2014), (NZ Patente nº 579957A, 2011), (US Patente nº 2007292577A1, 2007)
Fibra	(US Patente nº 0151098A1, 2011), (EP Patente nº 2174555A1, 2010), (EP Patente nº 2174555B1, 2014), (RU Patente nº 2014135545A, 2016), (NZ Patente nº 579957A, 2011)
Color	(US Patente nº 10477877B2, 2019), (US Patente nº 9375025B2, 2016), (US Patente nº 0317516A1, 2018), (US Patente nº 2018317516A1, 2018), (JP Patente nº 2014176394A, 2014)
Bajo contenido de grasa	(US Patente nº 10477877B2, 2019), (US Patente nº 9375025B2, 2016), (EP Patente nº 2174555A1, 2010), (US Patente nº 0317516A1, 2018)
Extracto de pectina	(WO Patente nº 03/009707A1, 2003), (WO Patente nº 03009707A1, 2003)
Pasteles y galletas	(WO Patente nº 120380A1, 2006)
Grasa y ácidos grasos	(GB Patente nº 341000A, 1931)

En la Tabla 11 se observan 7 posibles aplicaciones de la cascarilla de cacao en alimentos encontradas en patentes. A continuación, se explicarán cada una de ellas más a profundidad, para alcanzar una mejor comprensión de la temática y las amplias posibilidades que existen con este material.

## Sabor:

Aplicaciones de la cascarilla de cacao como saborizante natural de chocolate, agregando incluso hasta el 30 % de lo que se utiliza de cacao en polvo, esta cascarilla es alcalinizada y molida para que alcance un tamaño de partícula similar al del cacao en polvo (US Patente nº 0151098A1, 2011).

- **Fibra:**

Con el fin de incrementar el contenido de fibra y disminuir el contenido de grasa, Brandstetter y Hofsaess, incluyeron en la formulación de un producto lácteo acidificado cascarilla de cacao, con la desventaja de producir un sabor amargo en el producto (EP Patente nº 2174555A1, 2010).

- **Color:**

Bernaert y Ruyscher en 2019 patentaron una tecnología que pretende reemplazar el polvo de cacao como colorante, por polvo de cascarilla de cacao. En específico, utilizaron este material para los conos de barquillo para el helado, incluso reemplazando hasta el 100 % del polvo de cacao (US Patente nº 10477877B2, 2019).

- **Bajo contenido de grasa:**

El uso de la cascarilla de cacao es ventajoso desde diferentes puntos de vista, por un lado, desde lo nutricional, en particular al hablar de fibra dietaria, el polvo de cascarilla de cacao tiene el doble del contenido que el polvo de cacao tradicional. Por otro lado, desde lo económico este material reduce los costos de la materia prima siendo su valor menor al de otros ingredientes (EP Patente nº 2174555A1, 2010).

- **Extracto de pectina:**

La invención de Hansen y otros en el 2003 tuvo como objetivo utilizar la pectina hidrolizada de la cascarilla de cacao como ingrediente con sabor a chocolate en alimentos, encontrando un alto contenido de ramanosa (5-100 mM) convirtiéndose

en un nuevo recurso de esta sustancia, que puede ser utilizado a su vez como saborizante (WO Patente nº 03/009707A1, 2003).

- Pasteles y galletas:

El polvo de la cascarilla de cacao con un bajo contenido de grasa puede ser utilizado en pastelería para reemplazar el polvo de cacao, para darle sabor a los mismos chocolates (WO Patente nº 120380A1, 2006).

- Grasa y ácidos grasos:

A través de un proceso de dilución, es posible extraer las grasas, ácidos grasos y alcaloides de la cascarilla de cacao, posterior a ello, se procede a separar el solvente mediante destilación, la teobromina se puede retirar por cristalización y la cafeína se elimina con agitación en agua caliente, quedando el extracto de grasa (GB Patente nº 341000A, 1931).

Con los resultados de ambas búsquedas, tanto de artículos como de patentes se construyó una lista de criterios que podrían ser útiles: tecnología utilizada, consumo energético, riesgo ambiental, riesgo humano, capacidad de procesamiento – escalabilidad, costo de la tecnología, número de personas a intervenir en el proceso, complejidad del proceso, inversión y los recursos necesarios. Después de analizar estos criterios se seleccionaron 4 para definir cuál es la tecnología más apropiada, bajo el parámetro de aquel que agrupara un mayor número de tecnologías y estuviera en la línea investigativa de este trabajo.

Los 4 seleccionados fueron: escalabilidad, riesgos ambientales, riesgos sociales o humanos y afinidad con la industria de alimentos. Este último toma valores numéricos, por lo cual será analizado aparte de los demás que pueden ser analizados desde una escala cualitativa.

Ahora bien, ya se ha hablado de las aplicaciones y de los criterios de selección de las tecnologías, pero falta hacer referencia sobre dichas tecnologías; después de hacer la revisión bibliográfica, se encontraron 10 tecnologías utilizadas para cada uno de los

procesos de extracción, dentro de ellas están: fluidos supercríticos, microondas, alcalinización, extracción con solventes, ultrasonido, desfibrilación mecánica, HVED, PLE y tratamiento enzimático; repitiéndose en múltiples ocasiones o siendo las más estudiadas por la literatura 4 de ellas: fluidos supercríticos, alcalinización, desfibrilación mecánica y extracción con solventes.

**Evaluación, mediante la metodología Fuzzy Delphi, de los factores clave encontrados en la vigilancia tecnológica para la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos**

- Resultados cuantitativos:

Dentro de los resultados obtenidos, se observó que hubo una tendencia a darle calificaciones superiores a cada una de las preguntas, en la sección inicial en la que se buscaba priorizar las tecnologías para las diferentes aplicaciones, se encontró que la técnica de fluidos súper críticos debe ser priorizada para aplicaciones como extractos de teobromina, cafeína, fenoles, flavonoides, catequinas, epicatequinas, entre otras (Jokic´, Gagic´, Knez, Šubaric´, & Škerget, 2018). A continuación, en la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos por cada tecnología.

*Tabla 11. Resultados cuantitativos de alternativas*

Alternativa	Escalabilidad	R. Ambiental	R. Humano	Afinidad
Extracción con solventes	Medianamente alto	Alto	Alto	Alto
Alcalinización	Alto	Alto	Medio	Medio
Desfibrilación mecánica	Medianamente alto	Medio	Medio	Alto
Fluidos supercríticos	Muy alto	Muy bajo	Bajo	Alto

En la siguiente sección del cuestionario, donde se consultó sobre la importancia de cada uno de los criterios estudiados, se identificó que al criterio que mayor importancia se le otorgó fue al riesgo ambiental, seguido del criterio de escalabilidad, quedando de últimos el riesgo humano y la afinidad con la industria de alimentos; sin embargo, a estos también se les dio la calificación de muy importantes. En la Tabla 13 se presentan los resultados.

*Tabla 12. Resultados cuantitativos de los criterios*

<b>Criterio</b>	<b>% Muy importante</b>	<b>% Importante</b>
Ecalabilidad	62,50%	37,50%
R. Ambiental	75%	18,80%
R. Humano	53,10%	40,60%
Afinidad	46,90%	34,40%

- **Comentarios y recomendaciones:**

En los comentarios recibidos sobre el proyecto se identificaron cinco temas fundamentales, lo primero es una preocupación constante por el medio ambiente y que cada una de las técnicas mencionadas dependiendo de la disposición de los subproductos y de las sustancias utilizadas pueden afectar en mayor o menor medida. La segunda apreciación para tener en cuenta es que es necesaria una caracterización, para conocer mejor la cascarilla y sus potencialidades. La tercera es tener en cuenta el proceso postcosecha de la cascarilla, con el fin de identificar procedimientos críticos que afecten los metabolitos a extraer. La cuarta es verificar la presencia de metales pesados en la cascarilla, que imposibiliten sus aplicaciones, y la quinta es considerar el valor económico de las aplicaciones, ya que algunas de las tecnologías mencionadas son costosas. En la *Figura 9*, se presentan algunas de las palabras mencionadas por los expertos en sus comentarios.



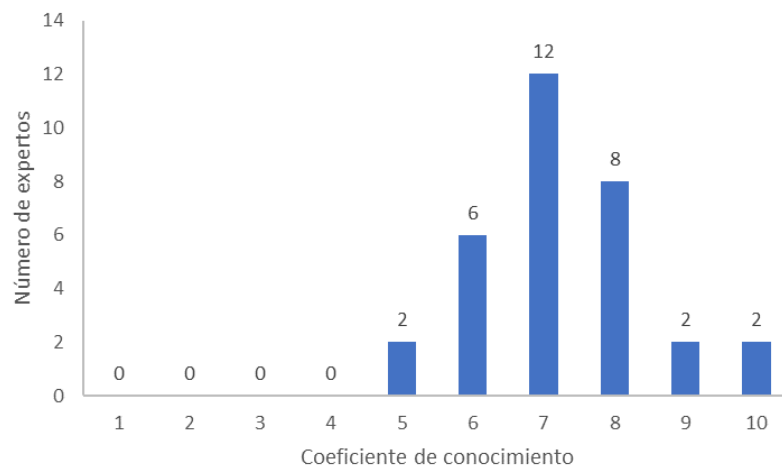


Figura 8. Resultados coeficiente de conocimiento

- Aplicaciones con la tecnología seleccionada:

Después de identificar la tecnología más adecuada desde el punto de vista cualitativo, se procedió a identificar cuáles eran las aplicaciones que se obtenían mediante dicha técnica, a lo cual se obtuvo como resultado cuatro estudios que habían abordado la cascarilla de cacao desde la técnica de fluidos super críticos, a continuación, se resumen en la *Tabla 15*, el fluido utilizado y las aplicaciones de cada uno de ellos.

Tabla 14. Aplicaciones de la cascarilla mediante fluidos supercríticos

Técnica	Aplicaciones	Fuente
Agua supercrítica	Fenoles, Flavonoides, ácido gálico, cafeína y teobromina.	(Jokic, y otros, 2020)
CO2 supercrítico	Grasa y cafeína	(González, Fernández, Olán, Lagunes, & García, 2019)
Agua supercrítica	Teobromina, cafeína, catequinas, epicatequinas, ácido gálico y algunos azúcares	(Jokic', Gagic', Knez, Šubaric', & Škerget, 2018)

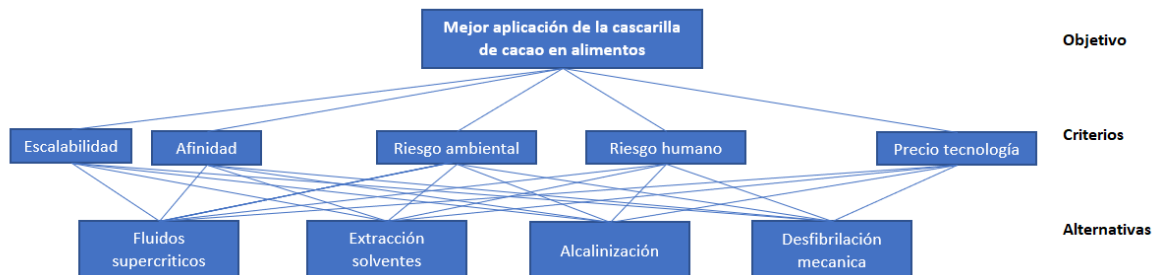
Técnica	Aplicaciones	Fuente
CO2 supercrítico	Fibra dietaría, proteína, etc.	(Vásquez, y otros, 2018)

Dentro de las aplicaciones encontradas mediante la tecnología de fluidos supercríticos se identificó teobromina, cafeína, catequinas y epicatequinas, ácido gálico, grasa, fibra dietaría y proteína. Al encontrar estas aplicaciones desde el punto de vista cualitativo, en adelante se abordará el mismo tema, pero desde el punto de vista cuantitativo con el fin de corroborar estos resultados e identificar cuáles deberían priorizarse.

**Definición, mediante la metodología Fuzzy AHP, de la importancia de cada uno de los factores clave para la evaluación de la inclusión de subproductos agroindustriales en la formulación de alimentos**

- Resultados cuantitativos:

Inicialmente se planteó el problema para construir la jerarquía analítica que se presenta en la *Figura 11*, allí se dividió en tres el problema, en la parte superior se plantea el objetivo de la decisión que es obtener la mejor aplicación de la cascarilla de cacao en alimentos, en el segundo nivel se encuentran los criterios, los cuales son: escalabilidad, afinidad, riesgo ambiental, riesgo humano y precio de la tecnología, mientras en el último nivel se encuentran las alternativas de decisión.



*Figura 9. Árbol de decisión*



Tanto las alternativas de decisión como los criterios pueden variar de acuerdo con el contexto del proyecto, por lo cual los tomadores de la decisión señalaron al realizar el estudio que es importante profundizar en el entorno de este antes de seleccionar criterios y alternativas.

Después de construir el árbol, con la ayuda de los tomadores de la decisión se armó la matriz de comparaciones. Esto se realizó a través de una encuesta donde los encuestados comparaban por pares los criterios hasta llenar la parte superior derecha de la matriz. La otra mitad de la matriz es recíproca, por lo cual con 20 preguntas como las que se presentaron en la metodología fue suficiente. En la Tabla 16, se muestran estos resultados.

*Tabla 15. Matriz de comparación*

	Escalabilidad			R. ambiental			R. humano			Afinidad			Precio		
Escalabilidad	1,00	1,00	1,00	0,13	0,25	1,00	0,14	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Riesgo ambiental	1,00	4,00	8,00	1,00	1,00	1,00	0,17	0,33	1,00	1,00	6,00	9,00	1,00	5,00	9,00
Riesgo humano	1,00	3,00	7,00	1,00	3,00	6,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,00	9,00	1,00	5,00	9,00
Afinidad	1,00	1,00	1,00	0,11	0,17	1,00	0,11	0,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	8,00
Precio	1,00	1,00	1,00	0,11	0,20	1,00	0,11	0,20	1,00	0,13	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00

Después de obtener la matriz de comparación se procedió a calcular la media geométrica difusa, para posteriormente encontrar los pesos difusos como se explicó en la metodología, que después se les quita la lógica difusa llegando a los valores encontrados en la *Tabla 17*.

*Tabla 16. Pesos centro*

	Pesos Centro
Escalabilidad	0,16
Riesgo ambiental	0,55
Riesgo humano	0,78
Afinidad	0,22
Precio	0,15

Por otro lado, los valores para los criterios de escalabilidad, riesgo ambiental, riesgo humano y afinidad fueron tomados de la evaluación mediante *Fuzzy Delphi*, donde los expertos asignaron valores a cada uno de los criterios con respecto a la

tecnología evaluada. El único criterio que faltaba por ser evaluado era el precio de las tecnologías, para lo cual se realizaron diferentes búsquedas que arrojaron como resultados las *Tablas de la 18 a la 21*.

*Tabla 17. Precios de fluidos supercríticos*

Fluidos supercríticos					
Capacidad	Unidad	Precio	\$	\$/L	3645,99
500	L	10.000,00	US	20	\$ 72.920
10	L	59.998,00	US	5999,8	\$ 21.875.211
5000	L	250.000,00	US	50	\$ 182.300
3000	L	238.000,00	US	79,33333333	\$ 289.249
5000	L	1.915.000,00	US	383	\$ 1.396.414
				Max	\$ 21.875.211
				Min	\$ 72.920
				Promedio	\$ 4.763.219

*Tabla 18. Precios alcalinización*

Alcalinización					
Álcali	Precio	Peso	Unidad	\$/kg	\$/L
3%	\$ 24.547	1	kg	\$ 24.547	\$ 736
5%	\$ 115.900	0,5	kg	\$ 231.800	\$ 11.590
7%	\$ 32.900	1	kg	\$ 32.900	\$ 2.303
7%	\$ 159.900	10	kg	\$ 15.990	\$ 1.119
				Max	\$ 11.590
				Min	\$ 736
				Promedio	\$ 3.937

*Tabla 19. Precios de la desfibrilación mecánica*

Desfibrilación mecánica					
Capacidad	Unidad	Precio	\$	\$/L	3645,99
12	L	12000,00	US	1000	\$ 3.645.990
22	L	42800,00	US	1945,45455	\$ 7.093.108
3000	L	16000,00	US	5,333333333	\$ 19.445
5000	L	30000,00	US	6	\$ 21.876
				Max	\$ 7.093.108
				Min	\$ 19.445
				Promedio	\$ 2.695.105

*Tabla 20. Precios de la extracción con solventes*

Extracción con solventes					
Solvente	Eficiencia	Precio	Cantidad	Unidad	\$/L
Etanol	15,48%	\$ 79.000	5	L	\$ 15.800
hexano	9,92%	\$ 43.752	1	L	\$ 43.752
Agua	21,32%	\$ 13.000	4	L	\$ 3.250
				Max	\$ 43.752
				Min	\$ 3.250
				Promedio	\$ 20.934

Después de obtener los precios, ya se tenía entonces la matriz de criterios por alternativas (o matriz *trade off*), solo restaba normalizarla (respecto al máximo y mínimo) para que los criterios fueran comparables entre sí. Finalmente, la suma producto de los resultados obtenidos con los pesos de cada uno de los criterios, arroja el puntaje para cada una de las alternativas, obteniendo que la mejor opción es la alcalinización como se observa en la *Tabla 22*.

*Tabla 21. Matriz trade off*

	Criterio					Puntaje
	Escalabilidad	esgo ambiental	Riesgo humano	Afinidad	Precio	
<b>Extracción con solventes</b>	0,28	0,00	0,27	0,94	0,00	0,46
<b>Alcalinización</b>	0,16	0,38	1,00	1,00	0,00	1,23
<b>Desfibrilación mecánica</b>	0,00	1,00	0,00	0,00	0,57	0,63
<b>Fluidos supercríticos</b>	1,00	0,26	0,67	0,95	1,00	1,17
<b>Prioridad criterios</b>	0,16	0,55	0,78	0,22	0,15	

Sin embargo, este resultado se obtuvo teniendo en cuenta que para cualquiera de los criterios obtener un puntaje alto es favorable, aunque así no sea. Ya que, en criterios como el riesgo ambiental, el riesgo humano y el precio, a menor puntaje es mejor, ya que es menos riesgosa o costosa la tecnología, por lo cual invirtiendo estos tres criterios se construyó la *Tabla 23*, donde el mejor resultado es para la extracción con solventes. Es importante tener en cuenta que los valores obtenidos en estas tablas son adimensionales.

*Tabla 22. Matriz Trade off corregida*

	Criterio					Puntaje
	Escalabilidad	Riesgo ambiental	Riesgo humano	Afinidad	Precio	
<b>Extracción con solventes</b>	0,28	1,00	0,73	0,94	1,00	1,51
<b>Alcalinización</b>	0,16	0,62	0,00	1,00	1,00	0,73
<b>Desfibrilación mecánica</b>	0,00	0,00	1,00	0,00	0,43	0,84
<b>Fluidos supercríticos</b>	1,00	0,74	0,33	0,95	0,00	1,03
<b>Prioridad criterios</b>	0,16	0,55	0,78	0,22	0,15	

## **Análisis de los factores clave y su importancia para la evaluación de la inclusión de la cascarilla de cacao en formulaciones alimentarias**

- Resultados de la vigilancia:

Después de realizar el proceso de vigilancia se encontraron 10 tecnologías fundamentales, cada una de ellas con sus aplicaciones respectivas. Sin embargo, este tipo de usos no resuelven por completo la problemática, ya que de estos procesos de extracción salen subproductos a los cuales sería necesario buscarles aplicación. Desde ese punto de vista, sería preferible incluir la cascarilla como ingrediente.

Para la cascarilla existen patentes que soportan su aplicación como ingrediente en lácteos acidificados (Europa Patente nº 2 174 555 A1 , 2008), galletas para helado (US Patente nº 10477877 B2, 2019), pastelería (WO Patente nº 120380 A1, 2006) y bebidas de cacao (GB Patente nº 190419627A, 1904), con procesos como molienda fina del material, extracción con agua a altas temperaturas, entre otros.

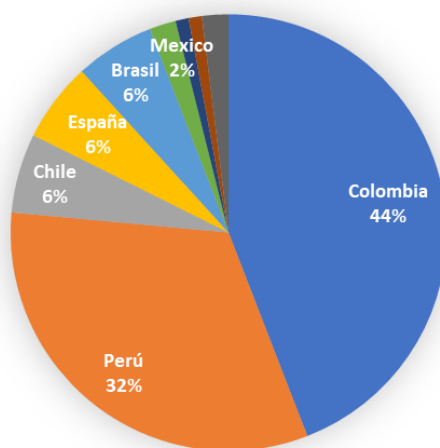
En este sentido, para futuras investigaciones se sugiere caracterizar la cascarilla de cacao para conocer mejor el material e identificar si hay materias primas más competitivas en ciertos componentes para descartar esas aplicaciones. Es decir, es posible cruzar los resultados de una vigilancia con una caracterización para así descartar algunas de las aplicaciones, además, eliminar la posibilidad de limitantes como la presencia de metales pesados u otras sustancias que restringirían la viabilidad del proyecto.

Por otro lado, el haber utilizado dos bases de datos para artículos y dos bases de datos para patentes le permite al estudio encontrar más y mejores resultados con la vigilancia, a pesar de que se identificó que en algunas ocasiones las publicaciones se encontraban en ambos portales.

- Resultados del *Fuzzy Delphi*:

Después de seleccionar entre las aplicaciones encontradas en la vigilancia, las más estudiadas, se concluyó que esto puede desviar el estudio perdiéndose oportunidades de aplicación, esto se realizó para acotar el problema y bajo el supuesto que aquellas más estudiadas podrían ser llevadas a la realidad fácilmente; sin embargo, no necesariamente las más estudiadas pueden ser aplicadas con mayor facilidad, lo que podría ser evaluado en un estudio posterior.

La encuesta la contestaron 46 personas, en el primer correo 33, en el segundo 6 más y en el tercero 7 más. De las 101 encuestas enviadas 45 personas pertenecían a Colombia, 56 a otros países como se muestra en la siguiente *Figura 12*.



*Figura 10. Expertos por regiones*

En esta investigación no se invirtieron algunos de los criterios, por lo cual los resultados deben ser analizados detenidamente, además, en múltiples comentarios se señaló que la tecnología de fluidos supercríticos es la mejor de acuerdo con los criterios de escalabilidad, riesgo ambiental, riesgo humano y afinidad con la industria de alimentos; sin embargo, desde el punto de vista económico no es la más favorable.

Otro aspecto para tener en cuenta al analizar los resultados obtenidos es que los expertos consultados no recibieron una contextualización previa sobre el proyecto,

solo recibieron la información del encabezado de la encuesta, por lo cual posible que profundizando en el objeto de investigación su percepción hubiera sido diferente. En las Tablas 24 y 25 se observan estos resultados.

Tabla 23. Tecnologías más estudiadas

Fluidos supercríticos	Extracción con solventes	Alcalinización	Desfibrilación mecánica
Cafeína	Grasa	Saborizante	Nanocelulosa
Tebromina	Proteína	Fibra dietaria	
Ácido galico	Antioxidantes	Color	
Catequinas y epicatequinas	Polifenoles		

Tabla 24. Alternativas priorizadas

Extracción con solvente	a1	0,1
Alcalinización	a2	0,1
Desfibrilación mecánica	a3	0,2
Fluidos supercríticos	a4	0,3

- Resultados del Fuzzy AHP:

Se pueden haber tenido en cuenta factores como el precio de las posibles aplicaciones y los rendimientos de cada una de las tecnologías para determinar cuál era la aplicación más viable, y que el enfoque no hubiera sido ¿cuál es la tecnología más adecuada? Si no, ¿cuál es la aplicación económicamente más viable? Para identificar a esa aplicación con cuales tecnologías se puede llegar y ¿cuál es la mejor opción? A continuación, en la *Tabla 26* se presentan los resultados obtenidos, donde la extracción con solventes grado alimenticio es la más viable.

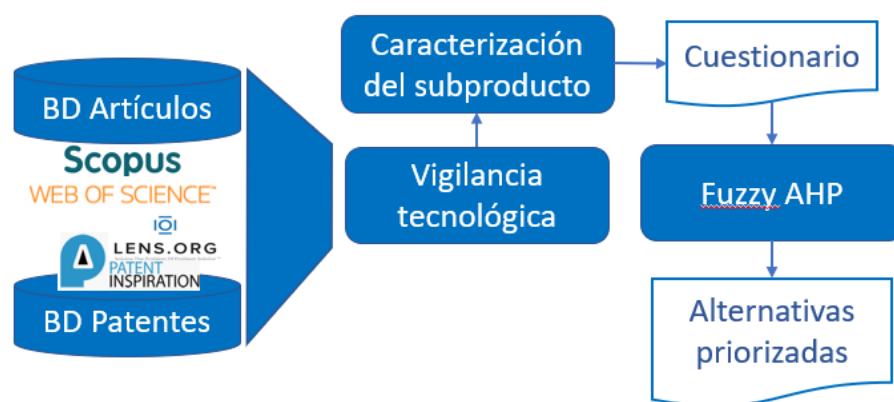
Tabla 25. Matriz trade off

	Criterio					Puntaje
	Escalabilidad	Riesgo ambiental	Riesgo humano	Afinidad	Precio	
Extracción con solventes	0,28	1,00	0,73	0,94	1,00	1,51
Alcalinización	0,16	0,62	0,00	1,00	1,00	0,73
Desfibrilación mecánica	0,00	0,00	1,00	0,00	0,43	0,84
Fluidos supercríticos	1,00	0,74	0,33	0,95	0,00	1,03
Prioridad criterios	0,16	0,55	0,78	0,22	0,15	

- Otras oportunidades para futuras investigaciones:
  - ✓ Estudiar aplicaciones no alimentarias de la cascarilla de cacao.
  - ✓ Investigar sobre la postcosecha para estabilizar la presencia de compuestos bioactivos.
  - ✓ Considerar el valor de los subproductos obtenidos de la cascarilla para la toma de la decisión.
  - ✓ Profundizar en los rendimientos obtenidos con cada una de las tecnologías.

- Metodología sugerida para futuras investigaciones en subproductos agroindustriales:

Después de realizar esta investigación se concluyó que la metodología utilizada puede ser optimizada para buscar aplicaciones actuales de los subproductos agroindustriales como se muestra en la *Figura 13* o aplicaciones futuras como se muestra en la *Figura 14*. Allí se eliminó la fase *Fuzzy Delphi*, ya que las organizaciones con este tipo de problemáticas están buscando soluciones día a día, por lo cual la fase de prospectiva no sería necesaria; sin embargo, se incrementó la fase de caracterización del material, para construir en conjunto con la vigilancia tecnológica, el cuestionario para realizar la priorización de aplicaciones mediante *Fuzzy AHP*.



*Figura 11. Metodología propuesta para subproductos agroindustriales actuales*

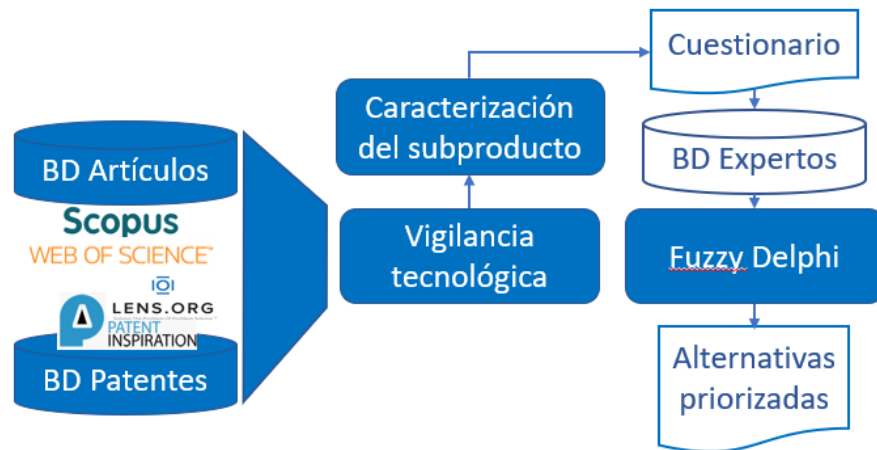


Figura 12. Metodología propuesta para subproductos agroindustriales futuras



# 4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la vigilancia tecnológica se concluye que existen múltiples alternativas para la cascarilla de cacao que le permitan ofrecer un mayor valor agregado al que se le da actualmente en la industria. Por ello se sugiere para futuros trabajos profundizar en cada una de ellas de acuerdo con las necesidades de quien las decida estudiar, para fines prácticos en este trabajo se incluyeron metodologías de toma de decisión que nos permitirán llegar a una de dichas aplicaciones.

Por otro lado, se recogió la información obtenida después de un proceso de vigilancia que identifica principalmente los criterios para la selección de las aplicaciones, donde se identificó que un criterio transversal a todas son los procesos de extracción de cada una de las aplicaciones, por lo cual para la evaluación mediante *Fuzzy Delphi*, se definió que se identificará las tecnologías más aptas para la industria en el 2025 basados en diferentes subcriterios definidos para la investigación.

Adicional al criterio de la tecnología identificada, también se encontraron criterios como el impacto ambiental de cada una de las tecnologías, ya que durante la búsqueda se identificó que algunos autores hacían referencia a tecnologías limpias con el medio ambiente. También se evidencio el factor humano como otro de los criterios, ya que estas tecnologías pueden implicar riesgos para quienes las operan.

Los otros dos criterios elegidos, escalabilidad y afinidad con la industria de alimentos se definieron ya que, al esperarse una solución industrial para la cascarilla de cacao en la industria de alimentos, es de esperarse que estos dos factores sean tenidos en cuenta.

Posteriormente en la evaluación mediante *Fuzzy Delphi*, con las cuatro tecnologías evaluadas se identificó que la mejor alternativa de tecnología para el procesamiento de la cascarilla de cacao es fluidos supercríticos, ya que en el factor escalabilidad dio

que era muy escalable, en los riesgos tanto en el humano como en el ambiental dio muy bajo y en la afinidad con la industria de alimentos arrojó como resultado que era alto.

A pesar de estos hallazgos, se evidenció en los comentarios realizados por los expertos que el estudio requiere de variables cuantitativas como costos de las tecnologías y valor comercial de los posibles productos obtenidos, ya que, si bien con las variables utilizadas existen diferencias sustanciales, con variables numéricas va a ser posible tener una visión más amplia del problema planteado.

Después en la definición mediante *Fuzzy AHP* cambió el resultado respecto al *Fuzzy Delphi*, ya que al tener en cuenta el precio de la tecnología y el comportamiento inverso del riesgo ambiental y el riesgo humano, se encontró que la mejor alternativa es la extracción con solventes sobre las demás tecnologías. Esto tiene coherencia con los comentarios de los expertos sobre el tema, donde se veía que la mayor viabilidad estaba en la extracción con solventes.

También se observó que para futuras investigaciones es importante tener en cuenta criterios como el rendimiento de los procesos de extracción y el precio del producto obtenido. Lo cual puede determinar cuál aplicación es la más viable, si el producto tiene un alto valor en el mercado, esto justificaría la inversión en tecnologías que permitan el procesamiento efectivo de la materia prima.

Dentro de los comentarios, se observó que la desfibrilación mecánica y alcalinización pueden tener mayor aplicación en la industria con el contenido de fibra, los otros componentes se pueden obtener en mayor contenido en otras materias primas y con otras tecnologías.

Respecto a la metodología utilizada, esta cumplió con los objetivos planteados, pero es una metodología robusta que toma tiempo en ejecutarse, para ser utilizada por la industria se sugiere dividirla dependiendo de los objetivos que se estén buscando, si se están persiguiendo aplicaciones futuras en la última fase deberá implementarse la metodología *Fuzzy Delphi* y omitir la metodología *Fuzzy AHP*, por el contrario si se está buscando una aplicación en el corto plazo se deberá realizar lo contrario.

Por otro lado, existe un potencial en los subproductos agroindustriales que ha sido estudiado tanto por la academia como por la industria, con estas metodologías planteadas se pretende que esto pase de la documentación a aplicaciones tangibles que lleguen al mercado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aladedunye, F. (2014). Natural antioxidants as stabilizers of frying oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 688-706.
- Amin, I., & Yee, C. (2006). Antioxidative effects of extracts of cocoa shell, roselle seeds and a combination of both extracts on the susceptibility of cooked beef to lipid oxidation. *Journal of Food Technology*, 10-15.
- Arango, B., Tamayo, L., & Fadul, A. (2012). Technological Monitoring: Methodologies and Applications. *Revista gestión de las personas y la tecnología*, 250-262.
- Arlorio, M., Coisson, J., Restani, P., & Martelli, A. (2001). Characterization of pectins and some secondary compounds from *Theobroma cacao* hulls. *Journal Food Science*, 653-656.
- Bagher, M., Charles, J., Junji, S., & Babak, K. (2012). Fuzzy AHP-based multicriteria decision making systems using particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 960-966.
- Camára de Comercio de Medellín. (2013). Cadena del Cacao en Antioquia. En *Informes Estudios Económicos* (págs. 8-28). Medellín.
- Chafla, A. L., Rodríguez, Z., Boucourt, R., & Torres. (2016). Bromatological characterization of cocoa shell (*Theobroma cacao*), from seven cantons of the Amazonia, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 245-252.
- Chronopoulos, D., Zuurbier, R., Brandstetter, B., & Jung, C. (2011). Food comprising alkalized cocoa shells and method therefor. Patent US 2011/0151098 A1.
- Collar, C., Rosell, C., Muguerza, B., & Moulay, L. (2009). Breadmaking performance and keeping behavior of cocoa-soluble fiber-enriched wheat breads. *Food Science and Technology International*, 79-87.
- Crescente, O., Acosta, M., Guevara, M., & Estaba, A. (1998). Aprovechamiento de los desechos del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Fundacite-Sucre*, 28-31.
- Cruz, R. (24 de 04 de 2018). Vigilancia tecnológica e innovación. Obtenido de CIDET:  
<http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2013/Ruben%20Dario%20Cruz%20-%20La%20Vigilancia%20tecnologica%20y%20la%20Innovaci%C3%B3n%20para%20el%20desarrollo%20empresarial.pdf>

- Díaz Córdova, J. F., Coba Molina, E., & Navarrete López, P. (2017). Fuzzy logic and financial risk. A proposed classification of financial risk to the cooperative sector. *Contaduría y Administración* .
- DNP. (06 de 06 de 2018). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de Análisis Cadenas Productivas: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/paginas/analisis-cadenas-productivas.aspx>
- Fedecacao. (05 de 06 de 2018). Federación Nacional de Cacaoteros. Obtenido de En 2017 Colombia alcanzó nuevo récord en producción de cacao: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-04-23-20-00-33/551-en-2017-colombia-alcanzo-nuevo-record-en-produccion-de-cac>
- ICCO. (06 de 06 de 2018). International Cocoa Organization. Obtenido de Statistics - Supply & Demand: [file:///C:/Users/pc/Downloads/Supply%20&%20Demand\\_QBCS%20XLIII%20No.%203.pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/Supply%20&%20Demand_QBCS%20XLIII%20No.%203.pdf)
- Iriondo-DeHonda, M., Miguel, E., & del Castillo, M. (2018). Byproducts as a Source of Novel Ingredients in Dairy Foods. *Reference Module in Food Science*.
- Javanbarg, M. B., Scawthorn, C., Kiyono, J., & Shahbodaghkhan, B. (2012). Fuzzy AHP-based multicriteria decision making systems using particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 960-966.
- Katia, C. R., Yelitzka, A. M., Martinez, & Olivero, A. (2017). Agroindustriales waste impact , management and exploitation. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 122-132.
- Kaustav, M., Memili, E., Welsh, D. H., Reddy, S., & Sype, G. E. (2015). Cross-country technology gap in Latin America: Growth accounting and non-parametric. *Cross Cultural Management*, 630-648.
- Kublera, S., Derigent, W., Voisin, A., & Traon, Y. (2016). A state-of the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Systems with Applications*, 398-422.
- Kumar, R., Sakshi, G., & Kumar, A. (2018). The utility based non-linear fuzzy AHP optimization model for network selection in heterogeneous wireless networks. *Applied Soft Computing*, 800-811.
- Laarhoven, P. v., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 199-227.
- Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo-Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 948-954.
- Luke, M. (20 de 04 de 2018). The evolution of surveillance technology beyond the panopticon.
- Obtenido de The University of California Santa Cruz: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.528.5779&rep=rep1&type=pdf>

- Mahmudova, S. (07 de 06 de 2018). ResearchGate. Obtenido de What is fuzzy logic?: [https://www.researchgate.net/post/What\\_is\\_fuzzy\\_logic](https://www.researchgate.net/post/What_is_fuzzy_logic)
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., Figueroa, J., Pérez-Álvarez, J., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (Theobroma cacao L.) co-products. *Food Research International*, 39-45.
- Murray, T., Pipino, L., & van Gigch, J. (1985). A pilot study of fuzzy set modification of Delphi. *Hum. Syst. Manag.*, 76-80.
- Okiyama, D. C., Navarro, S. L., & E.C.Rodrigues, C. (2017). Cocoa shell and its compounds: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 103-112.
- Ospina, C., & Gómez, M. (2014). Modelo de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva en Grupos de Investigación de las Universidades de la Ciudad de Manizales. *Manizales: Universidad Autonoma de Manizales*.
- Penagos, L. (31 de 05 de 2018). Proceso de elaboración del chocolate. (L. Ruiz, Entrevistador) Pill, J. (1971). The Delphi method: substance, context, a critique and an annotated bibliography. *Socio Econ. Plan. Sci.*, 57-71.
- Reglamento técnico del chocolate. (06 de 06 de 2018). Obtenido de Resolucion 1511 de 2011: [file:///C:/Users/pc/Downloads/RESOLUCION\\_1511\\_DE\\_2011\\_Reglamento\\_tecnico\\_Chocolate.%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/RESOLUCION_1511_DE_2011_Reglamento_tecnico_Chocolate.%20(2).pdf)
- Rezaei, J., & Ortt, R. (2013). Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. *European Journal of Operational Research*, 75-84.
- Rodríguez, R., Gauthier-Maradei, P., & Escalante, H. (2017). Fuzzy spatial decision tool to rank suitable sites for allocation of bioenergy plants based on crop residue. *Biomass and Bioenergy*, 17-30.
- Strasser, A. (2017). Delphi Method Variants in Information Systems Research: Taxonomy Development and Application. *The Electronic Journal of Business Research Methods* , 120- 134.
- UNAL. (06 de 06 de 2018). Unimedios Agencia de Noticias UN Ciencia & Tecnología. Obtenido de En la UN se hornea una golosina light: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/en-la-un-se-hornea-una-golosina-light.html>
- UPB. (28 de 03 de 2018). Universidad Pontificia Bolivariana. Obtenido de Maestría en Gestión Tecnológica: <https://www.upb.edu.co/es/postgrados/maestria-gestion-tecnologica->

medellin

- UPB. (21 de 04 de 2018). Universidad Pontificia Bolivariana. Obtenido de Misión: <https://www.upb.edu.co/es/identidad-principios-historia/mision-vision-valores>
- UPB. (21 de 04 de 2018). Universidad Pontificia Bolivariana. Obtenido de Grupo de Investigaciones Agroindustriales: <https://www.upb.edu.co/es/investigacion/nuestro-sistema/grupos/grupo-investigaciones-agroindustriales-grain-medellin>
- Wang, J. (2015). Use of cocoa shells for preparing chocolate flavor by preparing enzymatic hydrolyzate of cocoa shells, adding cocoa shells enzyme solution with amino acids, reducing sugar, solvent, reacting, cooling and filtering. Patent CN104187539-A.
- William, H., & Xin, M. (2018). The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 399-414.
- Zadeh, L. (1994). Fuzzy logic. Neural networks and soft computing. *Communications of the ACM*, 77-84 .
- Zhang, J. (2017). Evaluating regional low-carbon tourism strategies using the fuzzy Delphi- analytic network process approach. *Journal of Cleaner Production*, 409-419.
- Putri, B., Nadzirah, N., & Hussain, N. (2018). Composition of unfermented, unroasted, roasted cocoa beans and cocoa shells from Peninsular Malaysia. *Journal of Food Measurement and Characterization* , 2581–2589 .
- Amin, I., & Mukhrizah, O. (2006). Antioxidant capacity of methanolic and water extracts prepared from food-processing by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 778-784.
- Azizah, A., Nik, N., & Swee, T. (1999). Extraction and characterization of antioxidant from cocoa by-products. *Food Chemistry* , 199-202.
- Barbosa-Pereira, L., Guglielmetti, A., & Zeppa, G. (2017). Pulsed Electric Field Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Cocoa Bean Shell and Coffee Silverskin. *Food and Bioprocess Technology* , 818-835.
- Barbosa-Pereiraa, L., Rojo-Povedaa, O., Ferrocino, I., Giordano, M., & Zeppa, G. (2019). Assessment of volatile fingerprint by HS-SPME/GC-qMS and E-nose for the classification of cocoa bean shells using chemometrics . *Food research international*, 684-696.

- Barišića, V., Flanjaka, I., Totb, A., Budeč, M., Benšić, M., Jozinovića, A., . . . Ačkara, Đ. (2020). 5-Hydroxymethylfurfural and acrylamide content of cocoa shell treated with highvoltageelectricaldischarge. *Food control*, 1-9.
- BART, B. (2016). *RU Patente n° 2014135545A*.
- Bernaert, H., & Ruyscher, I. (2016). *US Patente n° 9375025B2*.
- Bernaert, H., & Ruyscher, I. (2019). *US Patente n° 10477877B2*.
- Bernaret, H., & Ruyscher, I. (2018). *US Patente n° 0317516A1*.
- BOCANEGRA, R., GAONKAR, A., & ANTONIO. (2005). Production of Cocoa Butter Microcapsules Using an Electrospray Process. *Food Engineering and Physical Properties*, 492-497.
- BRACCO, U., LOLIGER, J., & VIRET, J. (1981). Production and Use of Natural Antioxidants . 686-691.
- BRANCH, D. (2016). *CN Patente n° 105266162A*.
- Brandstetter, B., & Hofsaess, P. (2010). *EP Patente n° 2174555A1*.
- Brandstetter, B., Hofsaess, P., & Pfeifer, J. (2014). *EP Patente n° 2174555B1*.
- C., B., I., E., S., R., & L.W., K. (s.f.). Bioactive compounds and antioxidant activity of cocoa hulls (*Theobroma cacao* L.) from different origins.
- Cacao México. (27 de 07 de 2018). *Principales Países Productores de Cacao*. Obtenido de [https://www.cacaomexico.org/?page\\_id=201](https://www.cacaomexico.org/?page_id=201)
- CALLEBAUT, B. (2018). *US Patente n° 2018317516A1*.
- Chronopoulos, D. (2010). *EP Patente n° 2174557A1*.
- Chronopoulos, D., Zuurbier, R., Brandstetter, B., & Jung, C. (2011). *US Patente n° 0151098A1*.
- Collar, C., Rosell, C., Muguerza, B., & Moulay, L. (2008). Breadmaking Performance and Keeping Behavior of Cocoa-soluble Fiber-enriched Wheat Breads. *Food Sci Tech*, 79-87.

- E 'laine Boutin, J.-F. B. (2010). Valorisation de coproduits de l'industrie agroalimentaire par production de compost de haute qualite. *Publie ´ par les Presses scientifiques du CNRC*, 156-166.
- FAO. (27 de 07 de 2018). *World cocoa production and chocolate products exports and imports*. Obtenido de Chocolate: facts and figures: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/277756/>
- Fedecacao. (2011). Se intensifica la gesti3n del Presidente Ejecutivo de Fedecacao. *Cacaotera*, 4.
- Flanjak, I., Bariši, V., Križic, I., Jozinovic, A., Šubaric, D., Babic, J., . . . Arickar, Đ. (2018). Impact of high-voltage electric discharge treatment on cocoa shell phenolic components and methylxanthines. *Food process engineering*, 1-10.
- FOODS, K. (2011). *NZ Patente n° 579848A*.
- FOODS, K. (2011). *NZ Patente n° 579957A*.
- FOODS, K. (2014). *JP Patente n° 2014176394A*.
- GABRIELE, K. (2007). *US Patente n° 2007292577A1*.
- González-Alejo, F. A., Barajas, J., Olán, M., Mercedes, L., & García, P. (2019). Supercritical Fluid Extraction of Fat and Caffeine with Theobromine Retention in the Cocoa Shell. *Processes*, 1-13.
- Grillo, G., Boffa, L., Binello, A., Mantegna, S., Cravotto, G., Chematb, F., . . . Telyshevac, G. (2019). Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors . *Food research international*, 200-208.
- Handojo, L., Triharyogi, H., & Indarto, A. (2019). Cocoa bean shell waste as potential raw material for dietary fiber powder. *Recycling of Organic Waste in Agriculture* , 485-491.
- Hasen, C., Kochhar, S., Nicolas, P., & Redgwell, R. (2003). *WO Patente n° 03/009707A1*.



- J., C., N., K., H.Y., C., & Y.S., H. (2019). Effect of cacao bean husk powder on the quality properties of pork sausages.
- Jokić, S., Pavlović, N., Jozinović, A., Ačkar, Đ., Babić, J., & Šubarić, D. (2019). High-Voltage Electric Discharge Extraction of Bioactive Compounds from the Cocoa Bean Shell. *Chem. Biochem. Eng*, 271-280.
- Jokić, S., Gagić, T., Knez, Ž., Šubarić, D., & Škerget, M. (2018). Separation of Active Compounds from Food by-Product (Cocoa Shell) Using Subcritical Water Extraction. *Molecules*, 1-17.
- Jokić, S., Nastić, N., Vidović, S., Flanjak, I., Aladić, K., & Vlačić, J. (2020). An Approach to Value Cocoa Bean By-Product Based on Subcritical Water Extraction and Spray Drying Using Different Carriers. *Sustainability*, 1-12.
- Manzano, P., Hernández, J., Quijano, M., Barragán, A., Chóez-Guaranda, I., Viteri, R., & Valle, O. (2017). Polyphenols extracted from Theobroma cacao waste and its utility as antioxidant. *Journal of Food and Agriculture*, 45-50.
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., Figueroa, J., Pérez, J., & Viuda, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (Theobroma cacao L.) co-products. *Food reseach international*, 39-45.
- Mellinas, C., Jiménez, A., & Garrigós, M. (2019). Microwave-Assisted Green Synthesis and Antioxidant Activity of Selenium Nanoparticles Using Theobroma cacao L. Bean Shell Extract. *Molecules*, 1-20.
- MONSANTO. (1931). *GB Patente nº 341000A*.
- Nsor, J., & Zhong, F. (2012). In vitro hypoglycemic and cholesterol lowering effects of fiber prepared from cocoa (Theobroma cacao L.) shells. *Food & Function*, 1044-1050.
- Okiyama, D. C., Soaresa, I. D., Cuevasa, M. S., Crevelinb, E. J., Moraesb, L. A., Meloc, M. P., . . . Rodriguesa, C. E. (2018). Pressurized liquid extraction of flavanols and alkaloids from cocoa bean shell using ethanol as solvent. *Food Research International*, 20-29.

- Oliveira, L., Almeida, O., Cordazzo, M., Denzin, G., Vilas, D., & Alice, M. (2019). Study of morphological properties and rheological parameters of cellulose nanofibrils of cocoa shell (*Theobroma cacao* L.). *Carbohydrate Polymers*, 152-158.
- Oliveira, L., Ozana, A., Lessab, M., Cordazzo, D., Denzin, G., & Tonolic, D. (2019). Study of morphological properties and rheological parameters of cellulose nanofibrils of cocoa shell (*Theobroma cacao* L.) . *Carbohydrate Polymers*, 152-158.
- Panak, J., Ačkar, Đ., Jokić, S., Jozinović, A., Babić, J., & Milićević, B. (2018). Cocoa Shell: A By-Product with Great Potential for Wide Application. . 1-14.
- Pavlovic, N., Jokic, S., Jakovljević, M., Blažić, M., & Molnar, M. (2020). Green Extraction Methods for Active Compounds from Food Waste—Cocoa Bean Shell. *foods*, 1-14.
- PEARSE, G. (1904). *GB Patente n° 190419627A*.
- Poveda, O., Barbosa, L., Mateus, L., Bertolino, M., Stévigny, C., & Zeppa, G. (2019). Effects of Particle Size and Extraction Methods on Cocoa Bean Shell Functional Beverage. *Nutrients*, 1-19.
- Quijano-Avile, M., Lisbeth, G., Suárez, B., & Dévida, A. (2016). Linear programming formulation of a dairy drink made of cocoa, coffee and orange by-products. *Journal of Food and Agriculture*, 554-559.
- Rebollo-Hernanz, M., Zhang, Q., Aguilera, Y., Martín-Cabrejas, M. A., & Gonzalez, E. (2019). Relationship of the Phytochemicals from Coffee and Cocoa By-Products with their Potential to Modulate Biomarkers of Metabolic Syndrome In Vitro. *Antioxidants*, 1-23.
- Redgwella, R., Trovato, V., Merinata, S., Curtia, D., Hedigera, S., & Manez, A. (2002). Dietary fibre in cocoa shell: characterisation of component polysaccharides. *Food Chemistry*, 103-112.
- Rossin, D., Barbosa, L., Iaia, N., Testa, G., Sottero, B., Poli, G., . . . Biasi, F. (2019). A Dietary Mixture of Oxysterols Induces In Vitro Intestinal Inflammation through

TLR2/4 Activation: The Protective Effect of Cocoa Bean Shells. *Antioxidants*, 1-17.

SA, N. (2003). *WO Patente n° 03009707A1*.

Vasquez, Z., P., D., Neto, C., & Pareira, G. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 72-83.

Vasquez, Z., P., D., Pereira, G., Vandenberg, L., Oliveira, P., Tiburcio, P., . . . Soccol, C. (2019). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, 72-83.

Vojvodic, A., Komes, D., Vovk, I., Belscak, A., & Busic, A. (2016). Compositional evaluation of selected agro-industrial wastes as valuable sources for the recovery of complex carbohydrates. *Food research international*, 565-573.

Yanishlieva, N., & Marinova, E. (2001). Stabilisation of edible oils with natural antioxidants. 752-767.

Zumbe, A. (2006). *WO Patente n° 120380A1*.

Cabero, J., & Barroso, J. (2013). La Utilización del Juicio de Experto para la Evaluación de Tic. *Bordón*, 25-38.

Chang, P., Hsu, C., & Chang, P. (2011). Fuzzy Delphi method for evaluating hydrogen production technologies. *Hydrogen energy*, 14172-14179.

González, F. A., Fernández, J. B., Olán, M. d., Lagunes, L. M., & García, P. (2019). Supercritical Fluid Extraction of Fat and Caffeine with Theobromine Retention in the Cocoa Shell. *Processes*, 1-13.

Jokic, S., Nastic, N., Vidovic, S., Flanjak, I., Aladic, K., & Vladic, J. (2020). An Approach to Value Cocoa Bean By-Product Based on Subcritical Water Extraction and Spray Drying Using Different Carriers. *Sustainability*, 1-12.

Jokic, S., Gagic, T., Knez, Z., Šubaric, D., & Škerget, M. (2018). Separation of Active Compounds from Food by-Product (Cocoa Shell) Using Subcritical Water Extraction. *Molecules*, 1-17.

Lei, J., & Huang, W. (2018). Pragmatic Professionalism: A Fuzzy Delphi Study on the Competencies of Social Workers in Guangzhou, China . *British Journal of Social Work* , 505-524.

- Mallo, P., Artola, M., Galante, J., Martínez, D., Pascual, E., & Morettin, M. (2007). APLICACIÓN DEL METODO DELPHI A LAS DECISIONES FINANCIERAS EN SITUACIONES DE INCERTIDUMBRE. UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLAT, 159-171.
- Mohammad, M. F., Ghafar, N. H., Rahman, N. A., Abdullah, R., & Mayor, F. (2019). Analytical assessment on aviation practitioners needs for knowledge enhancement at the postgraduate level: an application of Fuzzy Delphi method . The International Conference on Aerospace and Aviation, 1-11.
- Romero, R., Cabero, J., LLorente, M., & Vázquez, A. (2011). El método Delphi y la formación del profesorado en TIC. Universidad de Sevilla.
- Vásquez, Z., Carvalho, D., Pereira, G., Oliveira, P., Tiburcio, P., & Rogez, H. (2018). Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review . Waste Management, 72-83.
- Zartha, J. W., Montes, J. M., Toro, I. D., & Villada, H. S. (2014). Método Delphi - Propuesta para el cálculo del número de expertos en un estudio Delphi sobre empaques biodegradables al 2032. Espacios, 10.
- Acar, C., Beskese, A., & Tekin, G. (2018). Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. Hydrogen energy, 18059-18076.
- Batuhan, M. (2013). A fuzzy ahp approach for supplier selection problem: a case study in a gear motor company. International Journal of Managing Value and Supply Chains.
- Gnanavelbabu, A., & Arunagiri, P. (2017). Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm. Materials Today: Proceedings, 13406–13412.
- Gutiérrez, F. (2017). Análisis Multicriterio para Problemas Discretos . Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Madžarević, A. R., Ivezić, D. D., Tanasijević, M. L., & Živković, M. A. (2020). The Fuzzy–AHP Synthesis Model for Energy Security Assessment of the Serbian Natural Gas Sector. Symmetry, 1-42.
- Mathew, M. (5 de Agosto de 2018). Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) - Using Geometric Mean.
- Osman, T., Abdallah, O. B., Reda, M. A., & Mohammed, R. K. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and TOPSIS methodologies. Applied soft computing, 105-116.
- Rodrigues, F., Osiro, L., & Ribeiro, L. (2014). A comparison between fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. Applied soft computing, 194-209.

- Sarfara, A., Jenab, K., & Souza, A. (2012). Evaluating ERP implementation choices on the basis of customisation using fuzzy AHP . *International Journal of Production Research* , 7057–7067.
- Acar, C., Beskese, A., & Tekin, G. (2018). Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. *Hydrogen energy*, 18059-18076.
- Bernaert, H., & Ruyscher, I. (2019). *US Patente n° 10477877 B2*.
- Brandstetter, B., Hofsaess, P., Eibel, H., Chronopoulos, D., & Pfeifer, J. (2008). *Europa Patente n° 2 174 555 A1* .
- Gnanavelbabu, A., & Arunagiri, P. (2017). Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 13406–13412.
- Gutiérrez, F. (2017). Análisis Multicriterio para Problemas Discretos . Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Henao, P., Tapasco, O., & Antonia, M. (2011). VALIDACIÓN DE TRES SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS ELABORADOS A PARTIR DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES DE POSCOSECHA EN FUNCIÓN DEL INCREMENTO EN SÓLIDOS TOTALES DE LA LECHE. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* , 105-114.
- Madžarević, A. R., Ivezić, D. D., Tanasijević, M. L., & Živković, M. A. (2020). The Fuzzy–AHP Synthesis Model for Energy Security Assessment of the Serbian Natural Gas Sector. *Symmetry*, 1-42.
- Mathew, M. (5 de Agosto de 2018). Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) - Using Geometric Mean.
- Pearse, G. (1904). *GB Patente n° 190419627A*.
- Peñaranda, L., Montenegro, S., & Giraldo, P. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia . *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* , 141-150.

- Pilar, M., & Santagapita, P. (2016). Aprovechamiento de subproductos y valorización de recursos autóctonos: interrelación investigación-producción-desarrollo y sociedad . *Programa Iberoamericano CYTED*.
- Rojas, A., Flórez, C., & López, D. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista cubana de química*, 31-52.
- Sarfaraza, A., Jenab, K., & Souza, A. (2012). Evaluating ERP implementation choices on the basis of customisation using fuzzy AHP . *International Journal of Production Research* , 7057–7067.
- Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 59-72.
- Zumbe, A. (2006). *WO Patente nº 120380 A1*.



