



## PROTOCOL FOR OBTAINING A BIOCOMPOSITE FROM COFFEE WASTE GENERATED IN VENECIA (CUNDINAMARCA)

### PROTOCOLO PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOCOMPOSITO A PARTIR DE RESIDUOS DE CAFÉ GENERADOS EN VENECIA (CUNDINAMARCA)

CASTRO-MORA J.J<sup>1</sup>; BOTELLO-SUÁREZ W. A<sup>2</sup>

**<sup>1</sup>Ing. Juan José Castro Mora.**

*Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad El Bosque.*

[jicastrom@unbosque.edu.co](mailto:jicastrom@unbosque.edu.co)

**<sup>2</sup>PhD. Wilmar Alirio Botello Suárez.**

*Profesor asociado. Programa de Ingeniería ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad El Bosque.*

[wbotello@unbosque.edu.co](mailto:wbotello@unbosque.edu.co)

#### Entidad

Av. Cra. 9 No. 131 A – 02, Bogotá D.C, Colombia

PBX: (571) 648 9000

E-mail: wbotello@unbosque.edu.co

#### Resumen

La vereda “El Diamante” (Venecia, Cundinamarca), se dedica principalmente a la producción de café. Esta actividad genera una variada cantidad de residuos, los cuales constituyen una fuente potencial de contaminación ambiental y un riesgo sanitario para la población. El presente trabajo tuvo como objetivo establecer, a partir de una revisión sistemática, un protocolo para la obtención de un biocomposito a partir de los residuos de la cereza del café generados en la vereda “El Diamante”. El protocolo se estableció considerando los principios de la química verde. Inicialmente, se realizó una visita de diagnóstico a la zona, identificando la inadecuada disposición de los residuos sólidos generados durante el procesamiento del café. También se evidenció la precariedad de las viviendas del sector. Con base en esto, se desarrolló la revisión sistémica de literatura científica, la cual permitió elaborar un protocolo integrado para la obtención del biocomposito. El índice de química verde estimado para el protocolo fue del 80%, lo cual representa un muy buen acercamiento verde. Se concluye que el protocolo establecido puede ser una estrategia plausible para el aprovechamiento de los residuos de café generados, útil para el desarrollo de un biocomposito con potencial aplicación como refuerzo de hormigón para las viviendas de la zona, y cuya aplicación cumple con la mayoría de los postulados de la química verde.

#### Palabras clave

Aprovechamiento de residuos; procesamiento de café; química verde, revisión sistemática.





### Abstract

The sidewalk of "El Diamante" (Venicia, Cundinamarca), is mainly dedicated to the production of coffee. This activity generates a varied amount of waste, which constitutes a potential source of environmental contamination and a health risk for the population. The aim of this work was to establish, based on a systematic review, a protocol for obtaining a biocomposite from coffee cherry waste generated in the sidewalk of "El Diamante". The protocol was established considering the principles of green chemistry. Initially, a diagnostic visit was made to the area, identifying the inadequate disposal of solid waste generated during coffee processing. The precariousness of housing in the sector was also highlighted. Based on this, a systemic review of scientific literature was carried out, which made it possible to develop an integrated protocol for obtaining the biocomposte. The index of green chemistry estimated for the protocol was 80%, which represents a very good green approach. It is concluded that the established protocol can be a plausible strategy for the use of coffee waste generated, useful for the development of a biocomposite with potential application as concrete reinforcement for the houses of the area, and whose application fulfills most of the green chemistry postulates.

**Keywords:** coffee processing; green chemistry, systematic review; waste management.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de café es una de las principales actividades económicas a nivel mundial. Su cultivo está asociado a regiones con temperatura moderada, zonas tropicales y subtropicales (Alves et al., 2017). En 2018 la producción de café en los países exportadores fue de 168,09 millones de sacos de 60 kilogramos (International Coffee Organization, 2019). En Colombia, uno de los principales productores a nivel mundial la cosecha de café para el 2019 llegó a 14,8 millones de sacos (Federación nacional de cafeteros de Colombia, 2019).

El procesamiento de café genera una gran variedad de residuos y subproductos, En Colombia, por cada 600 mil Toneladas de café verde producido, se generan aproximadamente 375 mil Toneladas de residuos (Federación nacional de cafeteros de Colombia, 2019). En la agroindustria de café solamente se utiliza

el 9,5% del peso total del fruto en la preparación de bebidas y el 90.5% son subproductos que tienen una composición rica en carbohidratos, proteínas, aceites y compuestos antioxidantes relevantes para la industria que no son aprovechados. Su inadecuado manejo puede generar serios problemas ambientales a las regiones productoras (Alves et al., 2017).

La vereda "El Diamante" está ubicada en el municipio de Venecia – Cundinamarca. Sus sistemas productivos se dan principalmente en minifundios, destacándose la agricultura de café y banano con cerca de 28% del territorio en cultivos (Alcaldía Municipal de Venecia, 2020), en los que se evidencia que los residuos agrícolas producto de la cosecha y beneficio del café no están siendo aprovechados sosteniblemente. Se estima que en esta zona, la producción de 1 Kg de café equivale al 20% del total del café en cereza, y el 75% corresponde a subproductos orgánicos, conformados por





residuos sólidos y agua residual. Los residuos sólidos generalmente se disponen como biomasa de manera inadecuada, produciendo abono sin tecnificación, e incidiendo en la acidificación del suelo.

El biocomposito, es un material constituido de polímeros naturales/biofibras y derivados del petróleo no biodegradables (PP, PE) o polímeros biodegradables (PLA, PHA). Los biocompositos derivados de la fibra vegetal (natural/biofibras) y cultivo/plástico biodegradable (biopolímero/bioplástico) son probables para ser más ecológicos y dichos compuestos se denominan como compuestos verdes (John & Thomas, 2008). Los biocompositos pueden ser potencialmente aplicables a la elaboración y refuerzo de materiales de construcción. Por tanto, residuos generados en las actividades de procesamiento de café constituyen un valioso recurso a partir del cual se pueden obtener estos materiales.

La obtención de los biocompositos puede ser evaluada empleando los principios de la química verde, que está enfocada en el diseño de procesos, la preparación y el uso de productos químicos con un potencial de contaminación y riesgo ambiental menor a los tradicionales, basados en diferentes tecnologías (Anastas & Warner, 1998).

Considerando lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo fue establecer una propuesta de protocolo para el uso potencial del residuo de la cereza del café generado en la vereda “El Diamante” como biocomposito a partir de una revisión sistemática, considerando los principios de la química verde. El presente estudio constituye un aporte al establecimiento de estrategias encaminadas a optimizar el uso de residuos derivados del procesamiento del café, como materias primas para la elaboración de materiales sostenibles, útiles para la solución de problemáticas de la región, específicamente de zonas

productoras, particularmente de la vereda “El Diamante”.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Diagnóstico

Para realizar el diagnóstico se realizó una visita a la zona, un registro fotográfico del estado de las viviendas de la vereda y se aplicaron instrumentos de recolección de datos tales como entrevistas, con una tipología semiestructurada con pregunta abierta. Finalizada la visita se categorizó y analizó la información recolectada. Adicionalmente fue aplicada una encuesta a fin de obtener información por parte de los habitantes de la vereda “El Diamante”.

### 2.2 Colección y análisis de información bibliográfica

Por medio de una revisión sistemática se analizaron las alternativas de aprovechamiento de la cáscara de la cereza de café para la obtención de un biocomposito. Para esto se realizó la búsqueda bibliográfica en las Bases de datos *Web of Science (WoS)*, *ProQuest*, *ScienceDirect*, *ISI Web of Science*, *JSTOR*, *BioOne* y *Redalyc*.

Para la búsqueda se combinaron términos clave a través de operadores booleanos. Los documentos encontrados, su resumen, conclusiones, autores, año y lugar de publicación, se almacenaron en un software de gestión de referencias Zotero, para su posterior análisis a partir de criterios establecidos.

### 2.3 Cálculo del índice de química verde y selección del protocolo

La evaluación a partir de los principios de la química verde del proceso de





elaboración de un biocomposito basado en la cáscara de la cereza del café, se estableció a partir de un procedimiento que permite evaluar qué tanto es el acercamiento verde. El análisis se efectúa en relación al cumplimiento de los principios de la Química Verde (Lancaster, 2016), mediante un código de color y una escala numérica tipo Likert (1–10); que va de totalmente café (1) a totalmente verde (10) (Figura 1), y que de manera ponderal indica cuál es el grado de acercamiento al protocolo de la Química Verde (Morales Galicia et al., 2011).

10	(10) Totalmente verde
9	(9) Gran acercamiento verde
8	(8) Muy buen acercamiento verde
7	(7) Buen acercamiento verde
6	(6) Ligero acercamiento verde
5	(5) Transición café a verde
4	(4) Ligeramente café
3	(3) Medianamente café
2	(2) Muy café
1	(1) Totalmente café

**Figura 1** Escala numérica tipo Likert para la evaluación de protocolo para la elaboración de un biocomposito a partir de los residuos de la cereza del café.

Complementada la metodología para la evaluación del protocolo, se llevó a cabo una métrica semicuantitativa denominada *Green Star* (GS) (Ribeiro et al., 2010), la cual consiste en la evaluación del verdor de la reacción para cada principio mediante criterios predefinidos, seguido de una representación gráfica de los resultados en un gráfico de radar de Excel: cuanto más completo es el gráfico, mayor es el grado de verdor (Ribeiro & Machado, 2014). Para el análisis del gráfico radar se

estableció el área de la estrella y se comparó con el área total empleando el procedimiento descrito por Ribeiro et al., 2010.

### 3. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio y visita técnica

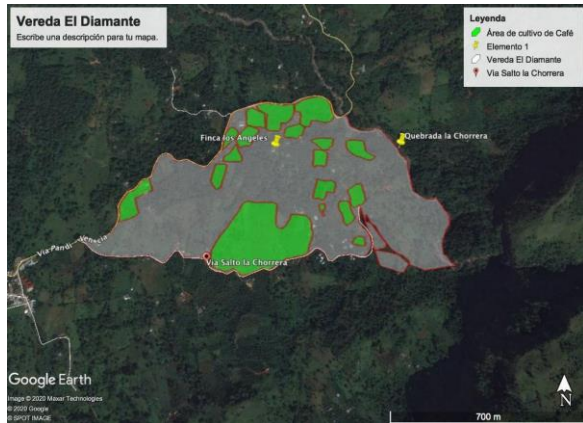
Se realizó un diagnóstico de la generación y manejo del residuo de cáscara de la cereza del café en la vereda “El Diamante”. Según datos de la alcaldía del Venecia, la vereda tiene un total 84,21 hectáreas, divididas en 14 Fincas de las cuales 33.78 Hectáreas están sembradas con café, en una proporción aproximada de 3000 plantas por hectárea (Figura 2).

La encuesta fue aplicada a 8 familias de la vereda “El Diamante” (de un total de 14). La agricultura tiene varias implicaciones, entre esta la generación de desechos por abonos, productos químicos y residuos de las viviendas aledañas, que son quemados, enterrados o entregados al carro recolector. También se producen desechos orgánicos, los cuales en un 66% son utilizados para la elaboración de abono, pero la comunidad no cuenta con las normas técnicas para su obtención, lo que limita el aprovechamiento de dicha biomasa.

El estado de las viviendas de la vereda “El Diamante”, los tipos de materiales utilizados para la construcción y las características de las adecuaciones cuando tuvieran lugar, se detectaron con el fin de identificar los posibles usos del biocomposito a partir de los residuos de la cereza del café.







**Figura 2.** Vereda El Diamante y las zonas cultivadas con café.

El 100% de las viviendas han sido remodeladas en pisos, paredes techos o ventanas, con materiales de concreto y zinc, seleccionados en un 98% por economía de los productos. Esto indica que el factor económico es un condicional a la hora de elegir materiales de construcción, lo que representa una ventaja al biocomposito al ser una alternativa que puede obtenerse de los residuos generados por la cosecha del café, cultivo que es abundante en la zona.

La entrevista se analizó a través de la técnica de análisis del contenido (Abela, 2002). De esta manera, se obtuvo información sobre las técnicas para el sembrado del café, los desechos que se producen y el aprovechamiento que se le da a los mismos en la vereda.

Se pudo establecer que las plantas de café se vuelven a sembrar cada tres años, pasado seis años se elimina completamente el cultivo (Valencia & Robledo, 2009). Los residuos del proceso de descerezado son almacenados de acuerdo a sus características y origen, el agua usada para el proceso de beneficio es almacenada en tanques para su posterior aprovechamiento, como abono líquido.



**Figura 3.** Residuos de la cereza del café en el proceso de beneficio.

Los residuos de la cereza de café son depositados, tapados, pero no estudiados, para la producción de abono que es mezclado con ceniza y servido en los cultivos, y frutales (Figura 3).

Tras la visita a la vereda fue posible determinar y comparar los procesos adelantados para el cultivo del café y lo expuesto en la bibliografía. En tanto, el cultivo del café tiene inmersos procesos en los cuales se producen distintos tipos de residuos (Figura 3). Sin embargo, los residuos son aprovechados únicamente para la producción de abono, no se hace el seguimiento de variables fisicoquímicas tales como pH, humedad o temperatura. Es un abono no tecnificado lo que contribuye potencialmente a generar problemas de acidificación en el suelo.

Las construcciones visitadas en la vereda requieren de un mejoramiento, entendido este como la intervención habitacional que pretende subsanar una o varias de las deficiencias, con el fin de superar uno o más de las deficiencias de habitabilidad. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que cualquier tipo de adecuación, debe cumplir como mínimo con las normas técnicas constructivas





vigentes en Colombia, en lo especial con lo definido en la Ley 400 de 1997, la norma NSR-10, o la norma que la modifique (Governación de Cundinamarca, 2015).



**Figura 3.** Procesos en el cultivo del café y sus residuos.

### 3.2 Establecimiento del protocolo

Fueron determinadas 45 investigaciones científicas asociadas al tema de estudio, las cuales fueron organizadas y almacenadas empleando el software Zotero. De las mismas, se seleccionaron 21 trabajos relacionados específicamente con el aprovechamiento de los residuos de café y la producción de un biocomposito (Abarca et al., 2010; Borghesi et al., 2016; Collazo et al., 2018; Coral, 2019; Dayanna Suarez, 2018; de Almeida et al., 2019; Dorota et al., n.d.; dos Santos et al., 2019; García & Riaño, 1999; Huang et al., 2018; Ilangovan et al., 2019; Ochoa et al., 2017; Oliveira & Franca, 2014; Pardo, 2016; Pereira et al., 2009; Reis et al., 2015; Reta & Mahto, 2019; Sierra et al., 2018; Suaduang et al., 2019; Tan et al., 2017; Urrego Yepes et al., 2017). Posteriormente se realizó una matriz con el fin de relacionar metodología, materiales, producto, posibles usos o aplicaciones de biomaterial producido y la normatividad en la que se basaron para desarrollar los

protocolos. A partir de las necesidades identificadas durante el diagnóstico en la vereda “El Diamante”, fueron seleccionadas 4 investigaciones (Coral, 2019; de Almeida et al., 2019; Reta & Mahto, 2019; Sierra et al., 2018), en las cuales la cáscara de café se empleó para la obtención de sustitutos de la producción de hormigón, a fin de reducir el uso de arena. Estas cuatro investigaciones se categorizaron a fin de identificar materiales, tipo de residuo empleado y tratamiento llevado a cabo para su conservación, procesamiento, así como para determinar las propiedades del biocomposito y métodos para la identificación de las características del mismo. Posteriormente se consolidó el protocolo para la obtención de un biocomposito a partir de los resultados de la cereza del café (Figura 4).

### 3.3 Química verde del protocolo de obtención del biocomposito

Realizar procesos que disminuyan el impacto ambiental negativo es una de las premisas fundamentales del desarrollo sostenible (Reyes-Sanchez, 2009). En ese sentido, una posible alternativa para desarrollar procedimientos que busquen acercarse a la sostenibilidad mediante la práctica de procesos amigables con el ambiente y económicamente redituables, es la que corresponde a la Química Verde (Morales Galicia et al., 2011).

El protocolo indica el principio de la química verde que abarca, acompañado del código de color que indica el grado de acercamiento verde de dicho proceso (Figura 4). Adicionalmente, en la Tabla 1 plasma el orden en el cual aparecen cada uno de los pasos experimentales en el diagrama de flujo, la evaluación justificada en los 12 Principios de la Química Verde considerados para el protocolo.



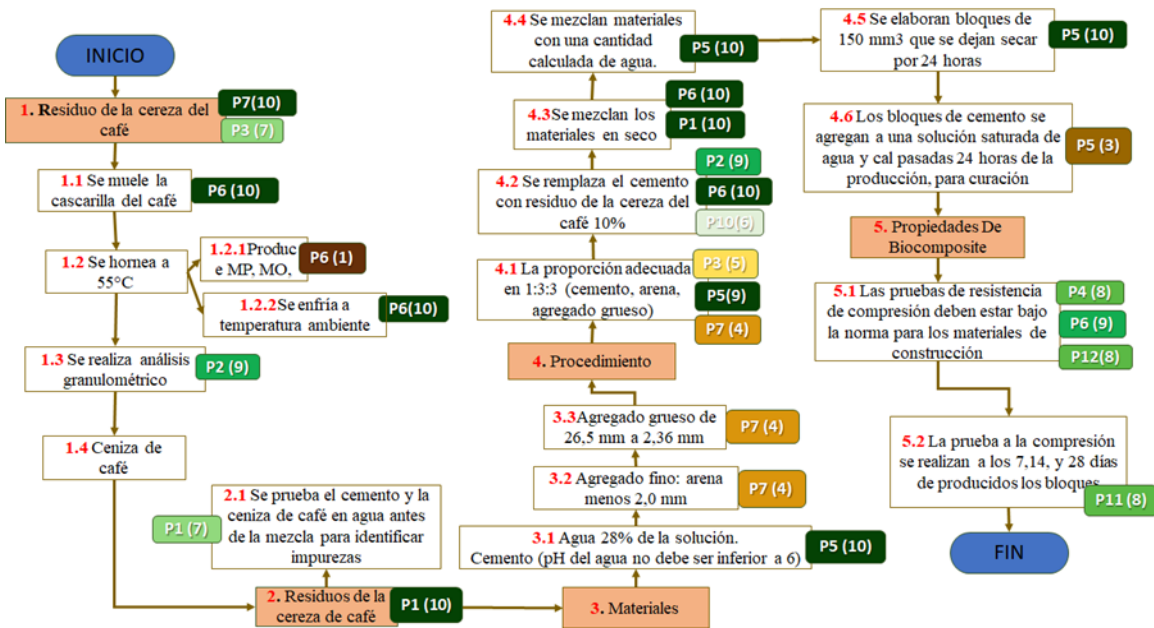


Figura 4. Protocolo para la obtención del biocomposito y principios de la Química Verde evaluados.

Tabla 1. Justificación de la evaluación del protocolo para la obtención de un biocomposito a partir de los residuos de la cereza del café.

Paso	Descripción	Principio de la química verde y su descripción
1	Residuo de la cereza del café	Los residuos de la cereza del café se consideran renovables, ya que su producción será constante mientras pueda cultivarse. En tanto se evalúa con el principio 7 como totalmente verde, con una puntuación de 10. Por su alto contenido de humedad, se llevan a cabo procesos de descomposición muy rápido devolviendo al ambiente los nutrientes. Es un material que no afecta la salud pero sí se almacena inadecuadamente genera eutrofización del suelo, en tanto se tiene en cuenta el principios 3 con una puntuación de 7.
1.1	Se muele la cascarilla del café	Se evalúa a partir de principio 6 ya que los requerimientos energéticos es un proceso que tiene un bajo impacto económico y al medio ambiente, en tanto la coloración es verde (10)
1.2.1	Produce MP, MO.	El calentamiento se lleva a cabo empleando hornos que producen contaminantes como MP y MO, por lo cual el acercamiento al principio 6 se considera actualmente café (1).
1.2.2	Se enfría a temperatura ambiente	El enfriamiento se realiza a temperatura ambiente, por lo que este paso es apropiado evaluarlo como totalmente verde (10) con respecto al principio 6.
1.3	Se realiza análisis granulométrico	Este paso presenta un muy buen acercamiento verde (9) ya que los residuos de la cereza del café al ser procesados son empleados al máximo y dependiendo de la granulometría se obtendrá mayor acumulación de la biomasa (Manals et al., 2018). Además, se emplea un método físico para el filtrado de la ceniza de los residuos de la cereza del café.
2	Ceniza de café	La ceniza del tratamiento de los residuos de la cereza del café, se emplea toda la producción del biocomposito, en tanto no se genera residuo de este proceso y se evalúa el principio 1 con 10, totalmente verde.
2.1	Residuos de la cereza de café	Como residuo se genera agua con restos de cemento y ceniza de residuo de café, se relaciona con el principio 1 es verde claro (7)
3.1	Prueba de impurezas	Como ingrediente del biocomposito se emplea agua. Sin embargo, se deben considerar los residuos generados. En consecuencia, este paso es conveniente calificar como totalmente verde (10) en relación al principio 5.





Paso	Descripción	Principio de la química verde y su descripción
3.2	Agua 28% de la solución. Cemento (pH inferior a 6.	Se califica con (4) de acuerdo al principio 7 en donde se plantea el uso de materias primas renovables como la arena que pueden causar problemas ambientales ya que se extraen con alta frecuencia, lo que no permite la pronta regeneración (PNUMA, 2014).
3.3	Agregado fino: arena menos 2,0 mm.	Se califica con (4) de acuerdo al principio 7 en donde se plantea el uso de materias primas renovables como la grava que puede causar problemas ambientales ya que en la actualidad se explotan mucho más rápido de lo que se regeneran. (PNUMA, 2014).
4.1	Agregado grueso de 26,5 mm a 2,36 mm.	Se califica con 10 totalmente verde el principio 5 al usar como disolvente el agua. El principio 7 se evalúa con 4, que se emplean materia prima que no se renuevan. Y el principio 3 con el valor de 5 ante la posibilidad de contar con materia prima con restos de materia orgánica que puede representar cierto peligro en la elaboración del biocomposito.
4.2	La proporción adecuada en 1:3:3 (cemento, arena, agregado grueso)	Con relación al principio 2, hay buena economía atómica (Lancaster, 2016), se emplean todos los componentes sin generar desechos. Este paso tiene un buen acercamiento verde (9). El principio 10 ya que se pretende obtener un biocomposito que emplee los residuos de la cereza de café, se otorga un (6) ya que solo es un porcentaje del proceso lo que es reemplazado. El principio 6 es evaluado en el proceso ya que el proceso se lleva a cabo a temperatura y presión ambiente, en tanto, el valor es 10, totalmente verde.
4.3	Se reemplaza el cemento con residuo de la cereza del café 10%	Con relación al principio 1 no se generan residuos, todos los productos de la mezcla se aprovechan, en tanto tiene una tonalidad totalmente verde (10)
4.4	Se mezclan los materiales en seco	Se evalúa este procesos a partir principio 5 ya que se emplean como disolvente el agua, en tanto, se otorga un valor de 10 Muy verde
4.5	Se mezclan materiales con una cantidad calculada de agua	El biocomposito se deja secar por 24 horas, lo que evalúa este paso como totalmente verde (10) en cuanto al principio 5.
4.6	Se elaboran bloques de 150 mm <sup>3</sup> que se dejan secar por 24 horas	Se hace uso de CaO en mezcla saturada acuosa, el cual es nocivo y corrosivo para el ser humano, por lo que se sugiere una evaluación medianamente café (3) del principio 5.
5.1	Los bloques de cemento se agregan a una solución saturada de agua y cal pasadas 24 horas de la producción, para curación	Diseño de químicos seguros hace referencia al principio 4, en este caso se lleva a cabo pruebas en tanto se otorga un valor de 8 ya que es un proceso eficaz. Se evalúa esta parte del proceso a partir del principio 12 ya que se genera un producto seguro ya que se prueba la resistencia y la flexibilidad con el fin de evitar accidentes al usarlo, en tanto se da una puntuación de 8. Adicionalmente se evalúa el principio 6 y se otorga un valor de 10 ya que todo el proceso de prueba se lleva cabo a temperatura ambiente.
5.2	Las pruebas de resistencia, compresión deben estar bajo la norma para los materiales de construcción	Se evalúa esta parte del proceso a partir del principio 11 puesto que se lleva a cabo medición de la resistencia y la flexibilidad del biocomposito, en tiempo real para prevenir la contaminación, permitiendo un seguimiento y control en tiempo real del proceso. En tanto se otorga un valor de 8

Para la evaluación se organizó cada paso del protocolo, el principio evaluado y la valoración dada, se realizó la sumatoria de todas las valoraciones y se dividió en el total de procesos, obteniendo como resultado un proceso con un muy buen acercamiento verde (8). En la evaluación del protocolo para la obtención del biocomposito a partir

de los residuos de la cereza del café, a través de la métrica semicuantitativa, la Estrella Verde (GS), se indicó el promedio de cada uno de los principios evaluados en el flujograma (Tabla 3), que facilitó la construcción de una gráfica radar en Excel (Figura 5). Su análisis y acercamiento verde se estableció a partir de los datos obtenidos







del área de cada principio dentro del protocolo. Se calculó el área de la Estrella Verde (GS) y el Índice de Área de Estrellas Verdes (GSAI) (Tabla 4), que permitió hacer interpretaciones de los resultados de la estrella verde (Ribeiro et al., 2010). En este sentido es importante mencionar que el protocolo tiene un muy buen acercamiento a lo verde al obtenerse una estrella que ocupa el 80% del radar.

**Tabla 3** Promedio de los puntajes a los principios evaluados para la obtención del biocomposito.

Principio	Promedio
P1	9
P2	9
P3	6
P4	8
P5	8
P6	8
P7	6
P10	6
P11	8
P12	8

Es importante enfatizar sobre el carácter relativo del verdor químico evaluado por las métricas empleadas, ya que depende del contexto en donde se realizan los procesos y de donde se obtiene las materias primas o de donde provienen los reactivos. Sin embargo, la utilización de métricas para evaluar el verdor químico de procesos fomenta la planificación de actividades y procesos más favorables desde el punto de vista ambiental (Gonçalves et al., 2017).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la evaluación del protocolo es pertinente mencionar que es necesario hacer un esfuerzo por emplear materiales y llevar a cabo procesos menos contaminantes, ya que es posible mitigar los efectos ambientales asociados, reduciendo el consumo de materiales e incrementar la participación de recursos renovables (Castro & Verbel, 2011). Hacer una evaluación precisa de cada proceso permite no solo identificar las posibles afectaciones al ambiente, sino que además corregirlas.

En Colombia la producción de cemento gris a nivel nacional es de 1.037,3 miles de toneladas (DANE, 2020). La síntesis del cemento se realiza por un proceso llamado síntesis en estado sólido, en el que se utilizan materiales como caliza y arcilla, que al ser procesados durante largo tiempo y a altas temperaturas emiten grandes cantidades de dióxido de carbono (Universidad Nacional de Colombia, 2015).

**Tabla 4** Porcentaje de cumplimiento del proceso para la obtención de un biocomposito determinado bajo los principios de la química verde.

Principio	Puntaje	Área	Área de la estrella verde	Área total del radar	Índice de relleno de estrella (GSAI)
P1 ~ P2	9 ~ 9	A1			
P2 ~ P3	9 ~ 6	A2			
P3 ~ P4	6 ~ 8	A3			
P4 ~ P5	8 ~ 8	A4			
P5 ~ P6	8 ~ 8	A5			
P6 ~ P7	8 ~ 6	A6	284	353	80% Muy buen acercamiento verde
P7 ~ P10	6 ~ 6	A7			
P10 ~ P11	6 ~ 8	A8			
P11 ~ P12	8 ~ 8	A9			
P12 ~ P1	8 ~ 9	A10			

Con la implementación de protocolos como el evaluado en esta investigación, con el que se pueda producir el mismo cemento, pero a partir de un proceso diferente, en donde además se aprovechan los residuos generados en procesos de beneficio del café, se contribuye al desarrollo de procesos que disminuyen su impacto ambiental mediante reducción de contaminantes. Para dar cuenta de esto, en la evaluación del protocolo para la obtención de un biocomposito para el aprovechamiento de los residuos de la cereza del café, se analizaron 10 principios





de la química verde, con implicaciones en los principios 3, 7 y 10, pero con valoraciones total del proceso de 8, lo que indica un buen acercamiento a lo verde. Asimismo, la métrica de estrella verde indica que el proceso tiene un 80% de acercamiento a lo verde.

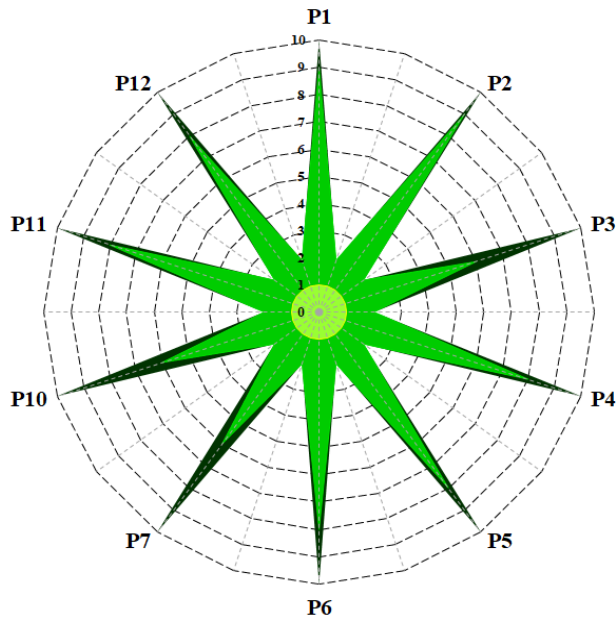


Figura 5. Estrella verde obtenida para el proceso de obtención de un biocomposito

#### 4. CONCLUSIONES

El protocolo establecido en el presente estudio constituye una alternativa para la obtención de un biocomposito a partir de residuos de café, potencialmente aplicable como refuerzo de hormigón en procesos constructivos. El protocolo adicionalmente cumple con la mayoría de los postulados de la química verde. Consecuentemente, es posible optimizar el uso de residuos generados durante las actividades de procesamiento del café, como materias primas para la elaboración sostenible de materiales que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de regiones productoras.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, D., Martínez, R., Muñoz, J., Torres, M., Vargas, G., 2010. Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: fuentes promisorias de fibra dietaria. *Rev. Tecnológica ESPOL* 23, 63–69.
- Abela, J.A., 2002. Las técnicas de Análisis de Contenido: Una revisión actualizada.
- Alcaldía Municipal de Venecia, 2020. Plan territorial de salud. [WWW Document].
- Alves, R., Rodrigues, F., Nunes, M.A., 2017. State of the Art in Coffee Processing By-Products, in: Galanakis, C. (Ed.), *Handbook of Coffee Processing By-Products*. Academic press, London, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00012-8>
- Anastas, P.T., Warner, J.C., 1998. *Green Chemistry: Theory and Practice*: Paperback: Paul Anastas - Oxford University Press. Oxford University Press, Oxford [England] ;;New York.
- Borghesi, D.C., Molina, M.F., Guerra, M.A., Campos, M.G.N., 2016. Biodegradation study of a novel poly-caprolactone-coffee husk composite film. *Mater. Res.* 19, 752–758. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0586>
- Castro, N.P.P., Verbel, J.T.O., 2011. Química verde: un nuevo reto. *Cienc. e Ing. Neogranadina* 21, 169–182.
- Collazo, S., Ortega-Toro, R., Boix, A.C., 2018. Reinforcement of thermoplastic starch films with cellulose fibres obtained from rice and coffee husks. *J. Renew. Mater.* 6, 599–610. <https://doi.org/10.32604/JRM.2018.00127>
- Coral, J.A., 2019. Comportamiento del concreto con cascarilla de café y posibilidades ante textura y color.
- DANE, 2020. Estadísticas de cemento gris. DANE.
- dayanna Suarez, L., 2018. Aprovechamiento agroindustrial de la pulpa y cascarilla del café (coffea arábica) variedad caturra en el





- noroccidente de pichincha.
- de Almeida, A.C., da Silva, M.A.L., de Abreu, Q.C., Silva, A.L. da M., Ribeiro, S.P., Pereira, C. de S.S., 2019. Evaluation of Partial Sand Replacement by Coffee Husks in Concrete Production. *J. Environ. Sci. Eng. B* 8, 129–133. <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2019.04.001>
- DOROTA, D., SZYMON, M., ADRIAN, A., EMILIA, O., MAREK, G., n.d. Roasted coffee waste as a substitute of wood chips in particleboards. *Warsaw Univ. Life Sci.* 43.
- dos Santos, G., Santos, J., Barros, A. de O., Caixeta, E.T., Mendes, T.A. de O., 2019. Produção de bioplástico a partir de resíduos de café e seu uso como matriz de liberação de antimicrobianos. *X Simpósio Pesqui. dos Cafés do Bras.* 4–9.
- Federación nacional de cafeteros de Colombia, 2019. Informe del gerente al 87 congreso nacional de cafeteros. Bogotá D.C.
- García, A.F., Riaño, C.E., 1999. Extracción de celulosa a partir de la borra de café. *Gobernación de Cundinamarca*, 2015. Cundinamarca y su café de leyenda. Cundinamarca.
- Gonçalves, F.P., Yunes, S.F., Guaita, R.I., Marques, C.A., Pires, T.C.M., Ricardo, J., Pinto, M., Machado, A.A.S.C., 2017. La dimensión ambiental de la experimentación en la enseñanza de la química: consideraciones sobre el uso de la métrica holística «estrella verde». *Educ. Química* 28, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.11.005>
- Huang, L., Mu, B., Yi, X., Li, S., Wang, Q., 2018. Sustainable Use of Coffee Husks For Reinforcing Polyethylene Composites. *J. Polym. Environ.* 26, 48–58. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0917-x>
- Ilangovan, M., Guna, V., Hu, C., Takemura, A., Leman, Z., Reddy, N., 2019. Dehulled coffee husk-based biocomposites for green building materials. *J. Thermoplast. Compos. Mater.* 089270571987630. <https://doi.org/10.1177/0892705719876308>
- International Coffee Organization, 2019. Total crop year production by exporting countries 1.
- John, M.J., Thomas, S., 2008. Biofibres and biocomposites. *Carbohydr. Polym.* <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040>
- Lancaster, M., 2016. *Green Chemistry 3rd Edition: An Introductory Text*, 3rd ed. Royal Society of Chemistry, United Kingdom.
- Manals, E.M.C., Tort, D.S., Medina, M.P., 2018. Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café” (Characterization of vegetable biomass coffee husk). *Cuba*.
- Morales Galicia, M.L., Martínez, J.O., Reyes-Sánchez, L.B., Hernández, O.M., Arroyo Razo, G.A., Valdivia, A.O., Ruvalcaba, R.M., 2011. ¿Qué tan verde es un experimento? *Educ. Quim.* 22, 240–248. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30140-x](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30140-x)
- Ochoa, D.R.H., Rojas-Vargas, J.A., Costa, Y., 2017. Characterization of NaOH-treated Colombian silverskin coffee fiber as a composite reinforcement. *BioResources* 12, 8803–8812. <https://doi.org/10.15376/biores.12.4.8803-8812>
- Oliveira, L.S., Franca, A.S., 2014. An Overview of the Potential Uses for Coffee Husks, Coffee in Health and Disease Prevention. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00031-0>
- Pardo, L.F., 2016. Aplicaciones biológicas del mucílago residual producto del beneficio de café. *Bucaramanga*.
- Pereira, L., Alves, J.S., Dos Reis, K.C., Pereira, J., 2009. Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis de phb e resíduos do beneficiamento de café.





- PNUMA, 2014. Extracción de arena, un recurso no renovable. Green facts.
- Reis, K.C., Pereira, L., Melo, I.C.N.A., Marconcini, J.M., Trugilho, P.F., Tonoli, G.H.D., 2015. Particles of coffee wastes as reinforcement in polyhydroxybutyrate (PHB) based composites. *Mater. Res.* 18, 546–552. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.318114>
- Reta, Y., Mahto, S., 2019. Experimental Investigation on Coffee Husk Ash as a Partial Replacement of Cement for C-25 concrete. *Cikitusi J. Multidiscip. Res.* 6, 152–158.
- Reyes-Sanchez, L.B., 2009. Propuesta interdisciplinaria de enseñanza y aprendizaje de las ciencias de orden ambiental, para la educación básica; utilizando el recurso suelo como eje. Costa Rica.
- Ribeiro, M.G.T.C., Costa, D.A., Machado, A.A.S.C., 2010. “Green Star”: a holistic Green Chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments. *Green Chem. Lett. Rev.* 3, 149–159. <https://doi.org/10.1080/17518251003623376>
- Ribeiro, M.G.T.C., Machado, A.A.S.C., 2014. Construção da estrela verde. Catálogo Digit. verdura atividades Lab. para o ensino da Química Verde.
- Sierra, J., Roque, H., Medrano, J., 2018. Aprovechamiento de la cascarilla de café en la elaboración de materiales de construcción. *El Higo Rev. Científica* 3, 7–9.
- Suaduang, N., Ross, S., Ross, G.M., Pratumshat, S., Mahasaranon, S., 2019. The physical and mechanical properties of biocomposite films composed of poly(Lactic acid) with spent coffee grounds. *Key Eng. Mater.* 824 KEM, 87–93. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.824.87>
- Tan, M.Y., Tien, H., Kuan, N., Lee, M.C., 2017. Characterization of Alkaline Treatment and Fiber Content on the Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Ground Coffee Waste/Oxobiodegradable HDPE Biocomposites. <https://doi.org/10.1155/2017/6258151>
- Universidad Nacional de Colombia, 2015. Reducir el impacto ambiental en la producción de cemento. Not. en la Fac. Minas.
- Urrego Yepes, W., Posada, J.C., Jaramillo, L.Y., Sierra, J.D., 2017. Study of mechanical and physical properties of LLDPE-G-MA injection grade reinforced with coffee husk post-industrial waste. *J. Compos. Mater.* 51, 419–429. <https://doi.org/10.1177/0021998316644854>
- Valencia, F.F., Robledo, Á.J., 2009. Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región, Cenicafé.

