



DECIMOQUINTA CONVOCATORIA PARA EL FOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN Y LA INNOVACIÓN 2020

Título del proyecto	
Procesamiento de café en cereza y riesgos ambientales asociados a la contaminación de fuentes hídricas: Estudio de caso Análisis comparativo del proceso de beneficio seco y húmedo tradicional en fincas productoras del municipio de San Gil (Santander)	
Campo de acción	Transdisciplinariedad - Aporte al PIM
Medio ambiente y desarrollo regional	
Articulación con funciones sustantivas y el sector social y productivo	
La presente propuesta de investigación se articula fuertemente con dos de las funciones sustantivas de la Universidad Santo Tomás, la investigación y la proyección social. Este proyecto permitirá fortalecer la capacidad investigativa mediante la generación de nuevo conocimiento de los subproductos líquidos del procesamiento del café y sus efectos potenciales sobre las fuentes hídricas, además, permitirá la interacción con uno de los sectores productivos agrícolas más representativos del país, generando proyección social en el departamento de Santander.	
Grupo de investigación	Línea de investigación en la que se inscribe el proyecto
Gestión ambiental y de los recursos naturales de Colombia	Gestión ambiental y de los recursos naturales

Nombre del Investigador principal	Enlace CvLAC	Enlace ORCID	Enlace Google Académico
Rolando Andrés Acosta Fernández	http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/vi_sualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001453788	https://orcid.org/0000-0003-4323-3835	https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=QyL4LU4AAAAJ&view_op=list_works&sortby=title#
División	Facultad	Programa	Grupo de investigación
División de Educación Abierta y a Distancia	Facultad de Ciencias y Tecnologías	Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas	Gestión ambiental y de los recursos naturales de Colombia
Nombre del Co-investigador	Enlace CvLAC	Enlace ORCID	Enlace Google Académico



Yennifer Garcia Murcia	https://scienti.colciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000814458	https://orcid.org/0000-0002-6741-7623	https://scholar.google.com/citations?user=USv_0-kAAAAJ&hl=es
División	Facultad	Programa	Grupo de investigación
División de Educación Abierta y a Distancia	Facultad de Ciencias y Tecnologías	Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas	Gestión ambiental y de los recursos naturales de Colombia
Nombre del Co-investigador	Enlace CvLAC	Enlace ORCID	Enlace Google Académico
División	Facultad	Programa	Grupo de investigación

Resumen de la propuesta	Palabras clave
La presente propuesta de investigación se focaliza en uno de los mayores problemas ambientales que tiene la cadena agroindustrial del café en Colombia, como es la generación de vertimientos de agua contaminada con grandes cargas orgánicas asociados al proceso de beneficio de café (despulpado y lavado) y, pretende identificar los riesgos ambientales asociados a la contaminación de fuentes hídricas. Para tal fin, se analizará el procedimiento de beneficio de café usando sistemas tradicionales de despulpado húmedo y sistemas BELCOSUB de despulpado seco, en funcionamiento y ubicados en el municipio de San Gil, Santander; lo anterior permitirá evaluar el proceso desde la descripción por balances de masa, además de identificar los principales parámetros de contaminación y los posibles impactos ambientales asociados a las aguas residuales sin tratamiento. Durante el desarrollo de la investigación se cuantificará la carga orgánica de los vertimientos del proceso usando como principales indicadores la demanda química y biológica de oxígeno (DQO y DBO), adicionalmente se realizará un análisis del efecto de estas aguas residuales	- Beneficio de café - Riesgos ambientales - Fuentes hídricas - Agroindustria - Bioindicadores.

sobre la biota usando bioindicadores como referencia. Esta propuesta permitirá interpretar la problemática de las aguas residuales de la agroindustria del café desde el punto de vista de la gestión de cuencas hidrográficas y visualizará las alternativas disponibles de control y tratamiento, así como el aporte a la mitigación de impactos ambientales de tecnologías emergentes.

Problema de investigación

La producción mundial de café para el año 2018 fue determinada en 168 millones de sacos de café pergamino seco (c.p.s), cada uno de 60 kg, siendo Colombia el tercer mayor productor a nivel mundial con 13,6 millones de sacos de la misma referencia [1]. Para transformar el café en cereza a café pergamino seco se requiere de un proceso de despulpado y lavado, donde son usadas grandes cantidades de agua, la cual luego de su uso son desechadas, en algunos casos sin tratamiento representando un problema para el medio ambiente aledaño. Actualmente, existen dos posibilidades para realizar el proceso de beneficio del café, uno de ellos, el despulpado seco consume 12,3 litros de agua por kg de c.p.s usando sistemas ahorradores de agua tipo Belcosub [2], mientras que el despulpado húmedo tradicional llega a alcanzar un consumo de 40 litros de agua por kg de c.p.s [3]. Los vertimientos generados por esta agroindustria presentan diferentes cargas contaminantes que dependen de diversos factores territoriales y tecnológicos, la carga orgánica de estos efluentes, en términos de demanda química de oxígeno (DQO), puede variar entre 2500 a 100000 ppm [4], adicionalmente, los efluentes de esta actividad tiene poseen características de alta acidez, con la presencia de compuestos como la cafeína y fenoles, todo lo anterior representa un factor de riesgo ambiental para las corrientes de agua presentes en las zonas de cultivo y aprovechamiento. A pesar que la Federación Nacional de Cafeteros ha realizado grandes esfuerzos para la mitigación de impactos ambientales asociados a estas actividades y ha socializado guías ambientales de uso en la agroindustria, la dimensión de los riesgos ambientales producto de esta agroindustria sobre las fuentes hídricas se desconoce o no son de acceso público, por tal motivo, la apropiación social del conocimiento es limitada y no permite la identificación de nuevas alternativas tecnológicas en el sector. Las mejoras de los procesos tecnológicos y la implementación de tecnologías emergentes para minimizar la contaminación, siguen siendo temas de interés de la caficultura colombiana.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario preguntarse: ¿Es posible realizar nuevos aportes tecnológicos a la caficultura colombiana mediante la evaluación de impactos ambientales asociados a los vertimientos del beneficio del café?, ¿Se han evaluado todas las alternativas tecnológicas para mitigar los riesgos ambientales sobre las corrientes de agua con base en los efectos fisicoquímicos y biológicos de los vertimientos?

Justificación

La agroindustria del café representa una de las cadenas agrícolas más aportantes al producto interno bruto de Colombia y durante muchos años ha sido el producto agrícola más representativo del país en mercados internacionales. El análisis de la situación cafetera ha estado supervisada durante muchos años por la Federación Nacional de Cafeteros y en la actualidad se desconocen los impactos ambientales más potenciales de las aguas residuales del beneficio del café sobre las corrientes de agua. El estudio apropiado de los impactos ambientales causados por las actividades de beneficio del café en



cereza afecta directamente al medio ambiente y a la población vecina. Considerando que la dinámica productiva se encuentra en constante cambio, causado por la influencia de factores climáticos, tecnológicos, culturales y económicos, es necesario continuar evaluando y monitoreando los impactos potenciales de esta actividad sobre las corrientes de agua.

De acuerdo con el Censo Nacional Agropecuario (2014) [5], el departamento de Santander es el departamento con mayor producción de café luego de los departamentos ubicados en el eje cafetero colombiano, donde la mayor aportante a la economía de esta agricultura es la provincia Guanentina, con el municipio de San Gil como su capital y surcada por la cuenca del río Fonce. En esta región, la implementación de tecnologías de ahorro de agua y tratamiento de vertimientos depende de las condiciones económicas del caficultor y, en muchos casos la apropiación tecnológica no se ha dado al ritmo que se desea. Considerando lo anterior, esta propuesta dará un aporte al entendimiento de la problemática ambiental evidenciando los principales factores de emisión de carga contaminante e impacto biológico sobre fuentes hídricas de la región, lo cual permitirá establecer posibles alternativas tecnológicas para el uso eficiente del agua, el tratamiento o aprovechamiento de efluentes contaminados por subproductos de café y por tanto, se obtendrá el impacto social siempre deseado en los procesos de investigación aplicada. Finalmente, esta propuesta ayudará a la apropiación social y la visualización de la Universidad Santo Tomás, además de su interacción con el sector productivo, la agroindustria colombiana y el campesinado regional.

Objetivo general

Analizar los riesgos ambientales asociados a la contaminación de fuentes hídricas en el proceso de beneficio del café en cereza en el municipio de San Gil, Santander.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis comparativo del proceso despulpado de café húmedo y seco mediante la implementación de balances de masa, análisis cienciométrico y regional.
- Evaluar las características fisicoquímicas de los efluentes del proceso de beneficio de café, así como su impacto biológico con uso de bioindicadores.
- Formular posibles alternativas tecnológicas para mitigar el impacto ambiental sobre las corrientes de agua y la huella hídrica del proceso.

Estado del arte y marco conceptual

En Colombia, el café corresponde a una de las cadenas agroindustriales más fuertes y con mayor participación económica, aportando el 18% del producto interno bruto (PIB) agrícola, además de impactar directamente a más de 553000 familias en 20 departamentos de del país [5,6]. Una vez llegada la temporada de cosecha, el caficultor realiza la transformación del fruto hacia el producto final como lo es el pergamino de café seco previo a tostación. Este proceso consiste en la implementación de una serie de operaciones unitarias que comprenden el recibo, despulpado, remoción de mucílago, la fermentación, el lavado y secado que son denominadas como el proceso de beneficio del café. De acuerdo con la información de la Federación Nacional de Cafeteros, el uso del beneficio tradicional de café con cuatro ciclos de lavado consume alrededor de 40 litros de agua por kg de c.p.s [3], mientras la

implementación de sistemas de beneficio de bajo consumo de agua (por ejemplo: BELCOSUB) disminuye este valor hasta 12,3 litro de agua por kg de c.p.s [2].

A pesar de las ventajas ecológicas del uso de sistemas ahorradores de agua, su implementación en la cadena agroindustrial se encuentra aún limitada por factores económicos de los caficultores y la calidad de taza obtenida con este proceso. En muchos casos, los caficultores prefieren continuar con el método de despulpado húmedo, debido a que el café obtenido es considerado de mayor calidad, además de obtener mayores precios y tener una mejor relación sabor/aroma comparado con el café obtenido por el proceso seco [7].

La disminución del consumo de agua durante el proceso de beneficio de café seco es notoria, sin embargo, la carga orgánica de los efluentes de lavado (mayor problemática ambiental) depende de las características del grano de café en cereza, incluyendo la cantidad de pulpa y mucílago presente. La carga orgánica del beneficio húmedo de café se ha estimado en una DQO 115 g por kg de fruto tratado, distribuido en el 73,7%p. debido a la pulpa y el 26.3%p. proveniente del mucílago [8]. Las aguas residuales generadas por el beneficio del café contienen dentro de su carga orgánica, péptidos, proteínas y azúcares. El agua residual del proceso de remoción de pulpa puede ser reutilizada el mismo día nuevamente en el proceso, sin embargo, esta metodología incrementa la materia orgánica y disminuye el pH. La alta acidez de los efluentes puede agotar la vida soportada en el oxígeno presente en los cuerpos de agua [9] y disminuir el pH de los suelos cercanos. Adicionalmente, estas aguas residuales contienen diferentes compuestos tóxicos como los taninos, alcaloides (cafeína), compuestos polifenólicos, además de nutrientes como nitratos y fosfatos [10]. Por tal motivo, la disposición de estos efluentes, sin tratamiento, sobre terrenos abiertos y corrientes de agua superficiales puede generar varios problemas ambiental y problemas de salud pública.

Las investigaciones sobre la temática se han centrado en la evaluación de tecnologías para el tratamiento de los efluentes del procesamiento del café y la disminución de carga contaminante, reportando el uso de extractos naturales como agente coagulante [11], la implementación de tratamiento biológico que promueven la degradación de compuestos orgánicos y la transformación de sustancias tóxicas [12], el tratamiento en biorreactores anaeróbicos de membrana [13], el uso de procesos enzimáticos para la oxidación de compuestos fenólicos [14], entre otros. Sin embargo, en Colombia y en la región los procedimientos más comunes para la disposición de estos efluentes son la disposición directa en suelos arcillosos y el uso de tanques de decantación para luego disponer los sólidos húmedos dentro de materiales de compostaje, fertilización y/o infiltración en los suelos; estas prácticas han sido evaluadas identificando el potencial tóxico de los efluentes en sistemas biológicos, así como el efecto fitotóxico evidenciado en la reducción en la germinación de semillas y el crecimiento de raíces [15].

A pesar que en Colombia se han desarrollado tecnologías para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café y reutilización de las mismas, el tema sigue siendo de gran interés a nivel mundial [7, 10-17]. En la región de estudio no es claro el impacto ambiental asociado a la actividad cafetera y la importancia de esta temática en nuestro país es de alta relevancia técnica y académica, además de ser necesaria para contribuir a gestión adecuada de cuencas y microcuencas hidrográficas. La información disponible sobre la temática de estudio es limitada y permite la oportunidad de generar nuevos aportes al conocimiento y desarrollo de la agroindustria. La Federación Nacional de Cafeteros ha generado grandes avances en la mitigación de impactos causados por esta agroindustria, sin embargo, es necesario que desde la academia se realicen aportes que permitan la transformación del proceso de

beneficio de café, además de evaluar los riesgos ambientales, que no han sido considerados, sobre las corrientes de agua asociados a las alternativas de beneficio de café disponibles actualmente.

Metodología

1. Revisión bibliográfica y búsqueda de información.

Durante el desarrollo de la investigación se realizará de manera constante la revisión y actualización de información relevante al tema de riesgos ambientales de las aguas residuales del beneficio de café. Se realizará una revisión sobre las características del despulpado de café, consumos de recursos naturales asociados, impactos ambientales, características fisicoquímicas y toxicológicas de las aguas residuales, además alternativas de tratamiento y reutilización; lo anterior permitirá establecer un análisis ambiental inicial del proceso de transformación del café cereza a pergamino de café previo a tostación.

Responsable: Todos los investigadores implicados.

2. Análisis regional y balance de masa del proceso de despulpado de café.

La caficultura de la región Guanentina será analizada tomando como referencia las actividades desarrolladas en el municipio de San Gil, para tal fin se recolectará información sobre hectáreas cultivadas, cantidad producida, sistemas de procesamiento de café más usado, geografía de la zona y ubicación de corrientes hídricas; la anterior información será obtenida de bases de datos de acceso público del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), alcaldía municipal de San Gil, Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) y el comité municipal de cafeteros del municipio.

Por otra parte, con base en la información recolectada, el proceso de despulpado de café será analizado usando como referencia el procedimiento húmedo tradicional y sistemas de beneficio seco BELCOSUB, para tal fin, se realizarán balances de masa considerando composición, flujo y condiciones reportados en la literatura para este tipo de procedimientos. Adicionalmente, se realizará la recolección de datos experimentales de los parámetros de operación del despulpado, lo cual permitirá realizar un comparativo con los sistemas de beneficio en funcionamiento.

Responsable: Investigador principal, Rolando Acosta Fernández

Personal de apoyo: Estudiante de pregrado 1

3. Identificación de características fisicoquímicas de las aguas residuales del beneficio del café.

Durante la recolección de información de la actividad anterior, se recolectarán muestras de agua residual de las diferentes corrientes de proceso siguiendo las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-3. Las muestras recolectadas serán caracterizadas para la determinación de carga orgánica a través de demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), sólidos totales disueltos (STD), sólidos totales suspendidos (STS), grasas, pH y carga fenólica. Los análisis y la inclusión de adicionales dependerán del presupuesto disponible, por tal motivo se evaluará la posibilidad de incluir análisis de taninos, alcaloides (cafeína), compuestos polifenólicos, además de nutrientes como nitratos y fosfatos. Lo

anterior permitirá establecer un perfil general de las corrientes de agua residual del beneficio de café, el cual servirá como entrada a la evaluación de impactos ambientales del proceso sobre las corrientes de agua.

Responsable: Investigador principal, Rolando Acosta Fernández

Personal de apoyo: Estudiante de pregrado 1

4. Evaluación del efecto biológico de las aguas residuales del beneficio del café.

Considerando las características de toxicidad de las aguas residuales del beneficio del café reportadas en literatura, se realizará un análisis biológico de dichas aguas mediante el uso de indicadores biológicos tales como algas del género *Chlorella*, microcrustáceos *Daphnia pulex* y peces guppy *Lebistes reticulatus*. Los ensayos serán realizados con diferentes concentraciones de carga orgánica tomando como referencia la DQO de las corrientes de agua residual. Los análisis se realizarán en condiciones controladas para garantizar la reproducibilidad. Los ensayos medirán la tasa de mortalidad para el caso de *Daphnia pulex* y *Lebistes reticulatus*, mientras en el caso de las algas *Chlorella* se determinará la inhibición al crecimiento. Lo anterior permitirá identificar el perfil toxicológico usando modelos biológicos y la información obtenida alimentará las actividades de investigación subsecuentes.

Responsable: Co-investigador, Yennifer Garcia Murcia

Personal de apoyo: Estudiante de pregrado 2

5. Identificación de los riesgos e impactos ambientales de las aguas residuales del beneficio del café sobre las corrientes de agua.

Una vez evaluados los procesos de despulpado húmedo y seco, e identificadas las características de carga orgánica y toxicidad de las corrientes de agua residual, se identificarán, cuantificarán y evaluarán los impactos ambientales asociados a este proceso sobre las corrientes de agua superficiales, para tal fin se tendrá en cuenta, además de los indicadores de vertimiento, la interacción de los procesos con corrientes de agua que formen parte de la cuenca hidrográfica del río Fonce. Lo anterior permitirá establecer criterios para la evaluación de alternativas de mitigación de dichos impactos y reconocer las alternativas tecnológicas más viables para el uso, aprovechamiento y tratamiento de las aguas de desecho de la agroindustria del café.

Responsable: Todos los investigadores implicados

Personal de apoyo: Estudiante de maestría 1

Resultados esperados

Como resultados de esta propuesta de investigación se espera obtener información que aporte a la generación de nuevo conocimiento sobre la situación actual de beneficio del café y sus impactos ambientales relacionados con aguas residuales de procesamiento, la cual será de acceso público y con proyección de apropiación social del conocimiento. La revisión bibliográfica permitirá establecer una revisión temática sólida con proyección a ser publicada como artículo tipo "Review". Las caracterizaciones fisicoquímicas, análisis biológico y balances de masa permitirán la evaluación de los riesgos ambientales del proceso y la identificación de alternativas tecnológicas para mitigarlos en futuros trabajos de investigación. Producto de esta propuesta



se espera contribuir a la formación de profesionales de alto nivel mediante el desarrollo de trabajos de grado a nivel de pregrado y de maestría. Este proyecto permite contribuir a la línea de investigación de gestión ambiental y de los recursos naturales y dará un aporte para mejorar la visibilidad del grupo de investigación de Gestión ambiental y de los recursos naturales de Colombia. Finalmente, la información obtenida de esta investigación beneficiará al caficultor colombiano promedio mediante la apropiación de conocimiento que ayuda a la mitigación de impactos ambientales de sus actividades agrícolas.

Tipo de producto	Descripción	Medio de verificación
Nuevo conocimiento	Artículo científico con información sobre análisis fisicoquímico, efecto biológico e impactos ambientales de los vertimientos del beneficio de café. Artículo en categoría A2 (Q2) de acuerdo con la clasificación Publindex-COLCIENCIAS	- Aceptación para publicación.
Producto de apropiación social del conocimiento	La información obtenida la investigación será presentada a la comunidad implicada en los análisis experimentales para garantizar la transferencia del conocimiento. Participación en un evento académico internacional.	- Informe final de investigación. - Certificado de participación a evento científico.
Producto de formación de recurso humano	Trabajo de grado para pregrado (2) en temas de: - Evaluación de subproductos del beneficio del café con énfasis en los vertimientos generados. - Evaluación del impacto biológico de los vertimientos generados por el beneficio del café. Trabajo de grado para maestría (1) en temas: - Identificación de riesgos e impactos ambientales asociados a efluentes del beneficio del café sobre las fuentes hídricas e identificación de alternativas tecnologías emergentes para su control y mitigación.	- Trabajos de grado (2 tesis de pregrado, 1 de maestría).



Cronograma

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	FECHA		FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				
		Ini.	Fin.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
1. Revisión bibliográfica y búsqueda de información.	Rolando Andrés Acosta Fernández Yennifer García Murcia	01/02	30/11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2. Análisis regional y balance de masa del proceso de despulpado de café.	Rolando Andrés Acosta Fernández	01/03	30/04					X	X	X	X	X	X	X																														
3. Identificación de características fisicoquímicas de las aguas residuales del beneficio del café.	Rolando Andrés Acosta Fernández	15/04	15/07										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																					
4. Evaluación del efecto biológico de las aguas residuales del beneficio del café.	Yennifer García Murcia	01/07	30/09																				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									

[illegible]

Presupuesto

	Presupuesto				
	Horas nómina				
Concepto	Nombre	Escalafón	Horas mes	Sede / Seccional o Externo	Total (\$)
Horas Nomina (Investigador Principal)	Rolando Andrés Acosta Fernández	2	40h/mes	Bogotá - División de Educación Abierta y a Distancia	\$ 1.072.7500
Horas Nomina (Co-Investigadores)	Yennifer García Murcia	4	20h/mes	Bogotá - División de Educación Abierta y a Distancia	\$ 7.496.250

FINANCIACIÓN	RECURSO	DESCRIPCIÓN	Valor partida	Valor contrapartida (Externa)	Total (\$)
RUBROS	Servicios Técnicos	Análisis fisicoquímicos especializados: Composición general, determinación de contenido de alcaloides, polifenoles, taninos nitratos, fosfatos y proteínas.	\$ 7.000.000		\$ 7.000.000
	Salidas de campo	Traslado de estudiantes e investigadores para el reconocimiento de la zona de estudio, análisis del proceso de despulpado, recolección de	\$ 5.000.000		\$ 5.000.000



		información ante entidades y recolección de muestras para análisis de laboratorio. Lugar: San Gil, Santander Localidad: Zona rural Conceptos: Transporte intermunicipal, desplazamiento en zona rural y alojamiento. Tiempo total estimado: 4 semanas			
	Equipos	N/A			\$ 0
	Materiales, insumos y software	Compra de materiales y reactivos para análisis de DQO, DBO, STD, STS y grasas. Compra de materiales y reactivos para el análisis biológicos con bioindicadores.	\$ 7.000.000		\$ 7.000.000
BOLSAS	Papelería	Libretas para control y estandarización de manejo de información.	\$ 200.000		\$ 200.000
	Fotocopias	Papelería general y fotocopias	\$ 100.000		\$ 100.000
	Material bibliográfico	N/A			
	Auxilio de transporte	N/A			\$ 0
	Movilidad	Participación en un evento académico científico internacional: Inscripción, tiquetes aéreos, transporte y alojamiento.	\$ 7.000.000		\$ 7.000.000
	Publicaciones (Artículos, proceso editorial y traducción)	Servicios de traducción y edición de documentos	\$ 1.000.000		\$ 1.000.000
TOTAL DEL PROYECTO SIN MOVILIDAD Y HORAS NÓMINA:					\$ 20.300.000

Referencia bibliográficas

- [1] Cifuentes, V. (2019). "Durante 2018 la producción de café mundial fue de 168 millones de sacos de 60 kg". La República. <https://www.larepublica.co/especiales/ruta-del-cafe/durante-2018-la-produccion-de-cafe-mundial-fue-de-168-millones-de-sacos-de-60-kg-2840566>.
- [2] Castillo, H., Guerrero, C. (2011). "Factores que limitan la implementación del sistema de beneficio ecológico (BELCOSUB) en el departamento de Nariño". Trabajo de grado. Universidad de Nariño.
- [3] Federación Nacional de Cafeteros. (2014). "Caficultura colombiana ahorra cada vez más agua". https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/caficultura_colombiana_ahorra_cada_vez_mas_agua/.
- [4] Matuk, V., Puerta, Q., Rodríguez, V. (1997). "Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café". Cenicafé 48 (4): 234-252.
- [5] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2016). "Tercer censo nacional agropecuario". Tomo 2. Resultados.
- [6] Federación Nacional de Cafeteros. (2011). "Detrás del café de Colombia". Al Grano. https://www.federaciondecafeteros.org/algrano-fnc-es/index.php/comments/colombia_es_cafe.
- [7] Dadi, D., et al. (2018). "Assessment of the effluent quality of wet coffee processing wastewater and its influence on downstream water quality". Ecohydrology & Hydrobiology 18: 201–211.
- [8] Valencia, N., et al. (2015). "Beneficio del café en Colombia". Reporte técnico. Cenicafé. 2015.
- [9] Haddis, A. y Devi, R. (2008). "Effect of effluent generated from coffee processing plant on the water bodies and human health in its vicinity". Journal of Hazardous Materials 152: 259–262.
- [10] Minuta, T., y Jini, D. (2017). "Impact of Effluents from Wet Coffee Processing Plants on the Walleme River of Southern Ethiopia". Research Journal of Environmental Toxicology. 11 (3): 90-96.
- [11] Garde, W. et al. (2017). "Application of Moringa Oleifera seed extract to treat coffee fermentation wastewater". Journal of Hazardous Materials 329: 102–109.
- [12] Pires, J.F., Schwan, R.F., y Silva, C.F. (2019). "Assessing the efficiency in assisted depuration of coffee processing wastewater from mixed wild microbial selected inoculum". Environmental Monitoring and Assessment 191 (5): 284-296.
- [13] Chen, R., et al. (2019). "Energy recovery potential of thermophilic high-solids co-digestion of coffee processing wastewater and waste activated sludge by anaerobic membrane bioreactor". Bioresource Technology 274: 127-133.
- [14] Batista Chagas, P.M, et al. (2015). "Immobilized soybean hull peroxidase for the oxidation of phenolic compounds in coffee processing wastewater". International Journal of Biological Macromolecules 81: 568–575.
- [15] Aguilar, L.L., Andrade-Vieira, L.F., y Oliveira David, J.A. (2016). "Evaluation of the toxic potential of coffee wastewater on seeds, roots and meristematic cells of Lactuca sativa L". Ecotoxicology and Environmental Safety. 133: 366-372.
- [16] Giraldo-Díaz, M.R., et al. (2018). "Environmental Impact Associated with the Supply Chain and Production of Grinding and Roasting Coffee through Life Cycle Analysis". Sustainability. 10(12): 4598.
- [17] Woldeesenbet, A.G., et al. (2014). "Characteristics of Wet Coffee Processing Waste and Its Environmental Impact in Ethiopia". International Journal of Research in Engineering and Science. 2(4): 01-05.