



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Pitalito, 19 de Octubre del 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

PIATLITO-HUILA

Los suscritos:

Chelsi Katherine Toro Daza, con C.C. No. 1083915799, **Ruby Alejandra Gasca Godoy**, con C.C. No. 1083922668.

Autoras de la tesis titulada “**Evaluación del uso del fermento de mucílago de café como herbicida**” presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de ingeniera agrícola;

Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Chelsy Katherine Toro

Firma:

Ruby Alejandra Gasca

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación del uso del fermento de mucílago de café como herbicida

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gasca Godoy	Ruby Alejandra
Toro Daza	Chelsi Katherine

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Barrera Bermeo	Oscar Mauricio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Pitalito-Huila **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2021 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 69

TIPO DE ILUSTRACIONES:

Diagramas **X**, Fotografías **X**, Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general **X**, Grabados ___ Láminas ___
Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o Cuadros **X**.

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: **Adobe Acrobat Reader DC o Nitro Pro PDF Suite**

MATERIAL ANEXO: No



PREMIO O DISTINCIÓN: No

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español	Inglés	Español	Inglés
1. Café arábico	Arabic coffee	6. Glifosato	Glyphosate
2. Fitotoxicidad	Phytotoxicity	7. Contaminación	Pollution
3. Arvenses	Weeds	8. Ácidos orgánicos	Organic acids
4. Ácido acético	Acetic acid	9. Levadura	Yeast
5. Sintomatología	Symptoms	10. Sacarosa	Saccharose

RESUMEN DEL CONTENIDO:

Con el fin de reducir el impacto ambiental ocasionado por el vertimiento del mucílago de café a las fuentes hídricas, se aprovechó este subproducto como posible uso de herbicida natural. La presente investigación determinó el efecto de fito-toxicidad sobre algunas arvenses al suministrar distintas dosificaciones (50-100%) de mucílago de café fermentado. Se utilizaron parcelas con un área de 0.75m², divididas en bloques completos al azar con 3 repeticiones de 0.25m². El mucílago de café se obtuvo de dos maneras; mecánicamente (desmucilagador) y por fermentación natural. Se establecieron tres tratamientos, de los cuales T1 y T2 se les adicionó sacarosa y levadura *saccharomyces cerevisiae* al 1%. T1 correspondiente a mucílago de café obtenido mediante desmucilagador; T2 obtenido mediante fermentación natural, y finalmente T3, mucílago de café extraído por fermentación natural sin adición alguna, siendo este último el testigo para los tratamientos anteriores comparados con glifosato. El tiempo de fermentación de los tratamientos, fue de 35 días (fermentación alcohólica y fermentación acética). A éstas se realizaron seguimiento de pH, sólidos solubles y acidez total (ácido acético-ac). Los niveles de fitotoxicidad que presentaron los tratamientos fueron 100% para T1 (concentración de 3.86% -ac), T2 de 87% (concentración de 2,18 -ac) y T3 no presentó ningún nivel de fitotoxicidad, para una un intervalo de aplicación cada tres días, donde para el día 9 se evidenció la mayor fitotoxicidad (de acuerdo a (ALAM). Siendo T1 el que presentó mejor resultado para el contenido de ácido acético y nivel de control de arvenses.

ABSTRACT:

In order to reduce the environmental impact caused by the dumping of coffee mucilage into water sources, this by-product was used as a possible use of natural herbicide. The present investigation determined the phyto-toxicity effect on some weeds by supplying different dosages (50-100%) of fermented coffee mucilage. Plots with an area of 0.75m² were used, divided into complete blocks at random with 3 repetitions of 0.25m². The coffee mucilage was obtained in two ways; mechanically (demucilagador) and by natural fermentation. Three treatments were established, of which T1 and T2 were added sucrose and 1% *saccharomyces cerevisiae* yeast. T1 corresponding to coffee mucilage obtained by means of a demucilagador; T2 obtained by natural fermentation, and finally T3, coffee mucilage extracted by natural fermentation without any addition, the latter being the control for the previous treatments compared with glyphosate. The fermentation time of the treatments was 35 days (alcoholic fermentation and acetic fermentation). These were monitored for pH, soluble solids and total acidity (acetic acid-ac). The levels of phytotoxicity that the treatments presented were 100% for T1 (concentration of 3.86% -ac), T2 of 87% (concentration of 2.18 -ac) and T3 did not present any level of phytotoxicity, for an application interval every three days, where by day 9 the highest phytotoxicity was evidenced (according to (ALAM). T1 being the one that presented the best result for acetic acid content and weed control level.



APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: Joel Girón Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Bertulfo Delgado Joven

Firma:

Evaluación del uso del fermento de mucílago de café como herbicida

Ruby Alejandra Gasca Godoy

Chelsi Katherine Toro Daza

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Pitalito - Huila

2021

Determinación del fermento de mucílago de café como herbicida

Ruby Alejandra Gasca Godoy

Chelsi Katherine Toro Daza

Proyecto de grado para optar el título de:

Ingeniera Agrícola

Director

Oscar Mauricio Barrera Bermeo

Docente del programa de Ingeniería Agrícola

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Pitalito - Huila

2021

Resumen

Con el fin de reducir el impacto ambiental ocasionado por el manejo inadecuado de los residuos provenientes del proceso de beneficio húmedo del café, en especial por el vertimiento del mucílago a las fuentes hídricas, se aprovechó este subproducto como posible uso de herbicida natural. La presente investigación determinó el efecto de fito-toxicidad sobre algunas especies de arvenses al suministrar distintas dosificaciones (50-100%) de mucílago de café fermentado. Se utilizaron parcelas con un área de $0.75m^2$, divididas en bloques completos al azar con 3 repeticiones de $0.25m^2$. El mucílago de café se obtuvo de dos maneras; mecánicamente (desmucilagador) y por fermentación natural. Para la fermentación, se establecieron tres tratamientos, de los cuales T1 y T2 se les adicionó sacarosa y levadura *saccharomyces cerevisiae* al 1%. T1 (MDSL) correspondiente a mucílago de café obtenido mediante desmucilagador; T2 (MNSL) mucílago de café obtenido mediante fermentación natural, y finalmente T3 (MN) mucílago de café extraído por fermentación natural sin adición alguna, siendo este último el testigo para los tratamientos anteriores comparados con herbicida convencional (glifosato). El tiempo de fermentación de los tratamientos, fue de 35 días, divididas en dos etapas; fermentación alcohólica (anaeróbica 10 días) y fermentación acética (aeróbica 25 días). A éstas se realizaron seguimiento de pH, solidos solubles ($^{\circ}$ Brix) y acidez total (expresada como ácido acético -ac). Los niveles de fitotoxicidad que presentaron los tratamientos fueron 100% para T1 (concentración de 3.86% ac para la tercera aplicación), T2 de 87% (concentración de 2,18 -ac) y T3 no presentó ningún nivel de fitotoxicidad, para una un intervalo de aplicación cada tres días, donde para el día 9 se evidenció la mayor fitotoxicidad (de acuerdo a Asociación Latinoamericana de Maleza - ALAM). Siendo T1 el que presentó mejor resultado para el contenido de ácido acético y nivel de control de arvenses.

Palabras claves: *Coffea arábica*, fitotocixidad, arvenses, ácido acético.

Astract

In order to reduce the environmental impact caused by the inadequate handling of the waste coming from the benefit process of the wet coffee, especially for the dumping of the mucilage into water sources, so in order to take advantage of this product, it was used as a possible natural herbicide. The present investigation determined the phyto-toxicity effect on weeds when applied different dosages (50-100%) of fermented coffee mucilage. Plots with an area of 0.75 were used, divided into complete blocks at random with 3 repetitions of 0.25. The coffee mucilage was obtained from two different processes; mechanically (demucilaginator) and by natural fermentation. Three treatments were established for the fermentation process, of which T1 and T2 were added sucrose and 1% *Saccharomyces cerevisiae* at 1%. T1 (MDSL) corresponding to coffee mucilage obtained by demucilaginator; T2 (MNSL) coffee mucilage obtained by natural fermentation, and finally T3 (MN) coffee mucilage extracted by natural fermentation without any addition, being the last one the witness for the previous treatments compared with conventional herbicide (glyphosate). The time of the fermentation treatments was 35 days, divided into two stages; alcoholic fermentation (anaerobic 10 days) and acetic fermentation (aerobic 25 days). The pH, soluble solids (°Brix) and total acidity (expressed as acetic acid -ac) were then monitored. The levels of phytotoxicity that the treatments presented were 100% for T1 (concentration of 3.86% ac for the third application), T2 of 87% (concentration of 2.18 -ac) and T3 did not present any level of phytotoxicity, for one application interval every three days, in which the day 9 evidenced the highest phytotoxicity (according to the Latin American Weed Association - ALAM). Being T1 the one that presented the best result for the content of acetic acid and level of control of weeds.

Keywords: *Coffea arabica*, phytotoxicity, weeds, acetic acid.

Contenido

1. Introducción	8
2. Problema de investigación	10
3. Justificación	13
4. Objetivos	15
4.1. Objetivo general	15
4.2. Objetivos específicos	15
5. Marco teórico	16
5.1. Generalidades del café (<i>Coffea arabica</i>)	16
5.2. Composición del fruto de café	16
5.3. Beneficio del café	16
5.3.1. Separación del mucílago de café	18
5.4. Mucílago de café	19
5.5. Fermentación del mucílago de café	19
5.5.1. Ácidos presentes en el mucílago de café	20
5.6. Efecto de inhibición del fermento de mucílago	21
5.7. Herbicidas convencionales	21
5.7.1. Selectivos	22
5.7.2. Totales	22
5.7.3. Residuales	22
5.7.4. Preemergentes	22
5.7.5. Postemergentes	22
5.7.6. Sistémicos	22
5.7.7. De contacto	22
5.8. Problemática causada por los herbicidas convencionales	22
5.8.1. Ambiental	23
5.8.2. Salud	24
5.9. Herbicidas orgánicos	25
6. Materiales y métodos	26
6.1. Localización	26
6.2. Recolección de la materia prima	26
6.2.1. Separación del mucílago de café	27
6.3. Tratamientos	27

6.4.	Preparación de las muestras.....	28
6.4.1.	Corrección de sólidos solubles (°Brix).....	28
6.4.2.	Inoculación de levadura <i>saccharomyces cerevisiae</i>	28
6.5.	Fermentación alcohólica	29
6.5.1.	Destilación simple	29
6.6.	Fermentación acética	30
6.7.	Análisis químico de mucílago de café fermentado.....	31
6.7.1.	Determinación pH.....	31
6.7.2.	Determinación de sólidos solubles (°Brix)	31
6.7.3.	Determinación de acidez	31
6.8.	Diseño experimental	31
6.9.	Aplicación de mucílago de café fermentado a arvenses	32
6.10.	Determinación de fitotoxicidad en arvenses.....	32
6.11.	Análisis estadístico.....	33
7.	Resultados y discusión.....	33
7.1.	Caracterización química de materia prima	33
7.2.	Fermentación alcohólica	35
7.2.1.	pH.....	36
7.2.2.	Sólidos solubles	38
7.2.3.	Acidez.....	39
7.2.4.	Destilación simple	41
7.3.	Fermentación acética	43
7.3.1.	pH.....	44
7.3.2.	Sólidos solubles	45
7.3.3.	Acidez.....	47
7.4.	Fitotoxicidad	50
7.4.1.	Sensibilidad de las malezas	50
7.4.2.	Rebrote de arvenses	56
8.	Conclusiones	58
9.	Recomendaciones.....	59
10.	Bibliografía.....	60

Figuras

Figura 1. Esquema de metodología.	26
Figura 2. Selección manual de granos(a), café seleccionado(b),café a despulpar(c).....	27
Figure 3. Montaje fermentación alcohólica.....	29
Figure 4. Montaje de destilación simple.	30
Figure 5. Caracterización química durante toda la fermentación alcohólica.	36
Figura 6. Comportamiento de pH durante la fermentación alcohólica.....	36
Figura 7. Comportamiento de sólidos solubles durante la fermentación alcohólica.	38
Figura 8. Comportamiento de acidez durante la fermentación alcohólica.....	39
Figure 9. Comprobación de contenido de etanol para los tratamientos T1(a), T2(b), T3(c).....	41
Figura 10. Caracterización química durante toda la fermentación acética.	43
Figura 11. Comportamiento de pH durante la fermentación acética.....	44
Figura 12. Comportamiento de sólidos solubles durante la fermentación acética.	45
Figura 13. Comportamiento de acidez durante fermentación acética.....	47
Figure 14. Resultados T1-100%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).	53
Figura 15. Resultados T1-50 Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).	54
Figura 16. Resultados T2-100%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).	54
Figura 17. Resultados T2-50%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).	54
Figura 18. Resultados T3-100%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).....	55
Figura 19. Resultados T3-50%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).....	55
Figura 20. Resultado de testigo(glifosato),única aplicación.....	55
Figura 21. Rebrote T1-100%(a), T1-50%(b) a los 22 días después de la última aplicación.....	57

Tablas

Tabla 1. Composición química del mucílago del fruto de café.....	19
Tabla 2. Escala sugerida por la Asociación Latinoamericana de Maleza ALAM.	32
Tabla 3. Resultados caracterización de la materia prima.	33
Tabla 4. Caracterización química último día de fermentación alcohólica.....	35
Tabla 5. Resultados del porcentaje de etanol, T1 (a), T2(b), T3 (c).....	41
Tabla 6. Caracterización química, último día de fermentación acética.	43
Tabla 7. Composición química del mucilago de café fermentado, último día de fermentación acética. ...	50
Tabla 8. Resultados del nivel de control de arvenses para el T1, T2 y T3	52

Ecuación

Ecuación 1. Formula de correccion de solidos solubles (°Brix)	28
--	----

1. Introducción

Colombia, al igual que la mayoría de los países de América Latina, ha fundamentado su crecimiento económico en su vocación y potencial agrícola. De acuerdo al Instituto Agustín Codazzi (IGAC, 2012), Colombia cuenta con 22,1 millones de hectáreas con vocación para uso agrícola, de las cuales solamente se utiliza 5,3 millones (24.1%) (Perfetti et al., 2013). Como se relaciona con lo anterior dentro de las actividades agrícolas el sector cafetero comprende 541 mil productores (660 mil fincas), con un área cultivada de 877 mil has, de las cuales los tamaños de las unidades productivas en promedio son de 1,5 has (FNC, 2018). En tal sentido, el Huila, es uno de los principales departamentos productores de café, cuyo proceso de obtención del grano es a través del beneficio húmedo (fermentación-lavado), el cual genera desechos contaminantes (mucílago) que afectan el agua, suelo y flora circundante (Trujillo, 2016). Así mismo, las cantidades de mucílago en los frutos y granos de café varían con la madurez del fruto, es así como los frutos maduros y frescos contienen en promedio 10,4% (entre 1,1% y 27,3%) en peso de mucílago y los granos despulpados un 18,8% (Ríos & Puerta, 2011).

En la cadena de producción cafetera se generan residuos en gran cantidad durante el beneficio e industrialización del café, donde solo se utiliza el 9,5% del peso del fruto fresco. Algunos de estos residuos provienen del desmucilaginado etapa en la que se produce una alta carga de materia contaminante (Castro, 2019). El mucílago, es producto del proceso húmedo (fermentación-lavado), el cual en la mayoría de los casos no solo el mucílago sino también la pulpa, son vertidos a fuentes hídricas a causa de la poca existencia de métodos económicamente viables y técnicas adecuadas para su tratamiento, constituyendo un problema ambiental (Murthy & Madhava, 2012). Durante la fermentación del mucílago actúan bacterias, levaduras y enzimas, cuyos productos los compuestos pécticos y azúcares en etanol, ácido láctico, ácido acético y

dióxido de carbono, entre otros, de los cuales el ácido acético, presenta actividad herbicida (de contacto y de amplio espectro) dañando el tejido de la planta, es desecante y al igual que la sal, absorbe el agua de las células, quema cada parte u organelo funcional dejándolo fisiológicamente inactivos, no se realiza fotosíntesis, por lo tanto, las plantas aplicadas no generan carbohidratos y la producción de lípidos es nula dejando como consecuencia una mancha necrótica en el lugar de la aplicación, causando la muerte. Investigaciones realizadas en Estados Unidos, Honduras y Brasil, en concentraciones de 5% - 20% resultados que varían entre el 80% al 100% de efecto para el manejo y control de malezas, además no se acumula en el sustrato evitando la alteración de sus propiedades (Talavera et al., 2015).

Con el presente proyecto se espera determinar la relación y dosificación del producto derivado de la fermentación de mucílago de café, como controlador natural de arvenses, sin afectar a los cultivos, a partir de concentraciones de fermento de mucílago indicado. Se pretende obtener el efecto del fermento de mucílago y la concentración de la solución que más eficiencia tendrá, en relación a la eliminación de arvenses.

2. Problema de investigación

El uso de herbicidas convencionales ha tenido un impacto grande sobre la producción agrícola y sin duda ha aumentado la producción en muchas cosechas. Desafortunadamente, la aplicación de herbicidas tiene efectos negativos sobre otras especies del cultivo, el ambiente y posible afectación sobre la salud de quien los manipule. Se debe tener en cuenta, que siempre existirá cobertura vegetal durante el proceso de producción agrícola, sin embargo, su control es importante para el buen desarrollo de los cultivos, debido a que tiene efectos sobre el rendimiento, costos de producción, sostenibilidad y generan pérdidas de alimentos de 287 millones de toneladas, suficiente para alimentar a 570 millones de persona. Los costos asociados al control tradicional de arvenses se estiman entre el 30 y 40% a nivel global y para Colombia se encuentra entre 17 y 22 %, y su incidencia sobre el cultivo generan pérdidas en el rendimiento del 66%, siendo el segundo factor después de los costos de cosecha (Salazar, 2010).

El principal herbicida ampliamente usado en la agricultura en el mundo es el glifosato, por su característica de ser no selectivo y de acción post emergente. El uso de éste, puede afectar la actividad microbiana del suelo, principalmente microorganismos que están vinculados a funciones que interviene de forma directa en la producción y la sustentabilidad agrícola como en los ciclos biogeoquímicos de nutrientes, la mineralización de los restos orgánicos, la inmovilización y solubilización de minerales, la degradación de xenobióticos, y la afectación a la actividad respiratoria (AR), que es uno de los principales metabolismos microbianos que ocurren en el suelo; con estrecha relación en procesos de mineralización e intensidad de los flujos de carbono y de energía (Sterren et al., 2016). También se ha asociado a la mortalidad de las poblaciones de abejas como un daño colateral derivado del uso de herbicidas y, en consecuencia, podrían ser indicadores biológicos de su efecto nocivo a nivel ecológico y ambiental (Johnson et al., 2010). De modo que

la interacción de las abejas con el herbicida no solo ocasiona su muerte, también pueden producir efectos sub-letales capaces de deteriorar la salud de la colmena entera (Gill et al., 2012). Debido a la aplicación de un exceso de aplicación en los cultivos, el glifosato podría incluso llegar a la superficie y al agua subterránea principalmente a través de la escorrentía (Ruiz et al., 2014). Por lo general, el agua subterránea se ha utilizado como fuente esencial de suministro de agua potable, varios informes que sugieren que los suministros de agua en áreas que tienen actividades agrícolas intensivas podrían tener un alto riesgo de contaminación por glifosato (Cengiz et al., 2017).

En el proceso de producción de café, se produce grandes volúmenes de aguas residuales no tratadas producto del lavado del grano una vez fermentado, cuyo vertimiento contaminan fuentes hídricas, suelo y flora circundante (Trujillo, 2016). Durante el proceso de beneficio húmedo del café, se generan dos subproductos: la pulpa y el mucílago de café (Zambrano, 1993). Estas aguas, tienen un alto contenido de materia orgánica y un pH ácido (Rodríguez, 2009), el cual se asocia con la muerte de animales acuáticos tales como microorganismos, renacuajos y peces, eventualmente dañan la flora presente en dichas aguas y si se vierten en los ríos en grandes volúmenes, se puede ocasionar un medio anaeróbico (desprovisto de oxígeno) que, de prolongarse mucho, cambiará totalmente la ecología del agua (Torres & Rodríguez, 1991). El potencial de contaminación de éste residuo según Cenicafé el 72% de la carga contaminante generada por el beneficio húmedo, correspondientes a un valor de DQO de $82.080 \text{ mg.kg}^{-1}$ de café cereza (cc), generados al despulpar y transportar la pulpa con agua, y el 28% de la contaminación corresponden a un valor de demanda química de oxígeno (DQO) $31.920 \text{ mg.kg}^{-1}$ de cc, producto del lavado (aguas mieles) (Ramírez, 2011).

Garzón y Prieto (2014) encontraron que el 80% de los caficultores, realizaban 3 enjuagues, pero sin hacer control del nivel de agua en el tanque, con un consumo promedio de agua de 9,4

L/kg de café pergamino seco para lavar el café en los tanques de fermentación, generando efluentes con un promedio de contaminación cercana a 26.500 ppm de DQO por kilogramo café pergamino seco (cps).

Con el fin de reducir el impacto ambiental ocasionado por el manejo inadecuado de los residuos provenientes del proceso de beneficio húmedo del café, en especial por el vertimiento del mucílago a las fuentes hídricas, se busca aprovechar este subproducto como posible uso de herbicida natural. ¿Qué efecto tiene la aplicación de mucílago de café fermentado sobre las arvenses?

3. Justificación

Mediante esta investigación se pretende elaborar un herbicida a partir del mucílago de café fermentado, con el objeto de reutilizar los subproductos provenientes de los tratamientos post-cosecha, producto del beneficio húmedo del café, debido a que la mayoría de los productores no cuentan con un sistema de tratamiento de las descargas de agua residuales, las cuales son vertidas a corrientes superficiales y al medio ambiente (Vásquez Gonzales, 2016) por lo que ayudaría a reducir la carga contaminante del mucílago fermentado, que corresponde al 26% de la contaminación total que generan los subproductos, y que está presente en las aguas residuales de lavado, con un aporte de 24 g de DQO por kilogramo de café en cereza, y una concentración entre 25.000 y 30.000 mg.L⁻¹, cuando se utilizan en el lavado cantidades de agua entre 4 y 5 L.kg⁻¹ de cps (Rodríguez Valencia et al., 2015).

De esta manera se aprovechará como materia prima el mucílago de café para elaborar una solución que se utilizará como herbicida natural. Los principales beneficios generados por la elaboración del herbicida, serán reflejados en la disminución de los costos derivados de la aplicación de herbicidas convencionales aportando con la sostenibilidad, cuyos pilares son el ambiental, económico y social. En cuanto al ambiental, se puede reducir los efectos causados al suelo, fauna (terrestre micro y macro, como también aéreo) y flora, debido a que los convencionales, cuyo componente activo es el glifosato no es selectivo. Al hacer uso de del fermento de mucílago, para inhibir el crecimiento de arvenses, ayuda a reducir los costos de producción, aumentar la producción, los cuales darán como resultado el aumento en los ingresos a los agricultores. Además, de no representar peligro para quien lo manipule.

Es necesario que los productores conozcan sobre los procesos de recolección del mucílago y su almacenamiento para su debido procesamiento como producto terminal, o entre otros porque

el producto posee composiciones químicas muy positivas para el desarrollo de microorganismos dentro del campo agropecuario.

4. Objetivos

4.1.Objetivo general

Determinar el efecto de fito-toxicidad sobre las arvenses al suministrar las distintas dosificaciones del mucílago de café fermentado.

4.2.Objetivos específicos

- Realizar la remoción de mucílago de café para usarlo como herbicida.
- Caracterizar la composición química del fermento de mucílago del café.
- Determinar la dosis adecuada del mucílago de café fermentado para uso como herbicida

5. Marco teórico

5.1.Generalidades del café (*Coffea arabica*)

El café es uno de las materias primas más importantes del mundo y una de las bebidas más consumidas a nivel global (Ribeiro et al., 2017; Cheng et al., 2016). Se informa que hay alrededor de 70 especies que pertenecen al género *Coffea*. Sin embargo, solo *Coffea Arabica* (Café Arábica) y *Coffea Canephora* (café Robusta) son los principales especies cultivadas y comercializadas. El café arábico es más preferido que Café robusta por su menor amargor y mejores características de aroma, que aportan más del 95% del café mundial (Babova et al., 2016).

5.2.Composición del fruto de café

El fruto de café es una drupa ovalada y normalmente contiene dos semillas. Tiene una longitud de 10 a 15mm y se le denomina cereza. Toma de 7 a 8 meses para madurar, dependiendo de la variedad y cuando madura, su cubierta es roja o amarilla en algunas variedades (Arcila et al., 2001). Está constituida por el exocarpio el cual es la capa externa del fruto (pulpa) y representa el 43,2% del fruto en base húmeda. Recubierto por la epidermis se encuentra el mesocarpio (mucílago), el cual está localizado entre el exocarpio y el endocarpio (pergamino), el mucílago representa el 11,8% del fruto en base húmeda (Arcilla, 2007). Los componentes del fruto de café se observan en la figura.

5.3.Beneficio del café

La transformación del café cereza en café pergamino se denomina beneficio del café. Existen principalmente dos métodos: beneficio vía húmeda y vía seca. El café colombiano se cataloga como suave lavado, debido a que se obtiene de variedades de la especie *Coffea arabica*, cafés arábigos, y se procesa por vía húmeda en su beneficio (Puerta, 1999).

El proceso por vía húmeda comprende las siguientes etapas: recolección del café en cereza, despulpado, remoción del mucílago, lavado y secado hasta obtener café pergamino seco, que luego se trilla para producir café almendra (green coffee) para exportación (Puerta, 1999).

Durante las últimas décadas, los estudios han demostrado que la ecología microbiana de la fermentación húmeda de los granos de café involucra una amplia gama de grupos microbianos que incluyen bacterias del ácido láctico (LAB), bacterias del ácido acético (AAB), *Bacillus*, *Enterobacteriaceae*, levaduras y hongos filamentosos (Elhalis et al., 2020). Las levaduras son un grupo importante de microorganismos en la ecología microbiana de la fermentación húmeda del café y se cree que desempeñan un papel fundamental tanto en la degradación del mucílago como en la producción de metabolitos deseables (Evangelista et al., 2014 ; Martins et al., 2019 ; Pereira et al., 2015).

En el procesamiento del café por vía húmeda que se realiza se generan grandes volúmenes de residuos y líquidos, que son tanto ricos en constituyentes orgánicos como inorgánicos, que pueden llegar a hacer altamente contaminantes por sus valores de acidez, contenido de sólidos y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Una vez que se eliminan del medio ambiente sin tratamiento, es probable causar grandes problemas ambientales, comprometiendo la flora y la fauna (Campos et al., 2021). Se demostró que el mucílago consiste en (p / p) 85-91% de agua y entre 6.2% y 7.4% de azúcares. La mayoría de los azúcares (63%, p / p) son azúcares reductores (Ríos & Puerta, 2011). Por lo tanto, el mucílago tiene un gran potencial para ser utilizado como fertilizante, alimento y compost, pero también como fuente de carbono y nitrógeno en procesos biotecnológicos para la producción de ácidos orgánicos (Neu et al., 2016).

5.3.1. Separación del mucílago de café

En el proceso de beneficio tradicional del café, por vía húmeda, se remueve el mucílago por medio de fermentación natural. En este proceso las enzimas naturales desintegran la estructura del mucílago que queda adherido al grano después del despulpado y antes del lavado, permitiendo que los compuestos insolubles en agua se solubilizan a través de las reacciones naturales que se presentan y puedan ser retirados del grano por medio del lavado (Peñuela-Martínez et al., 2010).

Para el café se recomiendan fermentaciones sumergidas al 30%. Se taponan el desagüe del fermentador y se adicionan 30 L de agua limpia por cada 100 kg de café baba (Puerta Quintero, 2012). El tiempo de fermentación es la variable que el caficultor puede fijar dentro de un rango, para diferenciar la calidad de su café, de esta manera puede decidir según el sistema de fermentación, las características a acentuar en su café y darle valor agregado al producto (Puerta & Echeverry, 2015). Sin embargo, para fermentaciones de sustrato sumergido en sistema abierto se recomienda en un rango de 16 a 24 horas (Puerta Quintero, 2012).

La tecnología para el Beneficio Ecológico del café por vía húmeda, con manejo de los subproductos, se desarrolló con el fin, de utilizar la menor cantidad de agua con el fin de realizar el beneficio de café y controlar más del 90% de la contaminación de las aguas. El desmucilagador mecánico, que hace parte fundamental de esta tecnología, se encarga de remover el mucílago del café por medios mecánicos, con lavado y limpieza adicional de los granos, utilizando menos de un litro de agua por kilogramo de café pergamino seco. Con el desmucilagador mecánico, se obtiene café lavado con más de 98% de remoción de mucílago, el cual puede llevarse inmediatamente al secador y así obtener café de alta calidad física y en taza (González et al., 2007; Usaquén et al., 2008; Roa et al., 2004).

5.4. Mucílago de café

El mucílago se adhiere a la pulpa del café y representa el 5% del peso seco de este (Murthy & Madhava Naidu, 2012). El mucílago constituye una capa de aproximadamente 1/2 a 2 mm de espesor que está fuertemente adherida a la cáscara del grano de café, con 94% de humedad, 4% de azúcar, 0,7% de proteína y 1-3% de pectina (Siridevi et al., 2019). Se cree que la abundancia de carbohidratos y nitrógeno en el mucílago, en particular glucosa, galactosa y minerales, es una fuente adecuada para la producción de hidrógeno, ácido láctico y etanol (Hernández et al., 2014; Neu et al., 2016; Pérez -Sariñana et al., 2015).

Tabla 1. Composición química del mucílago del fruto de café

Sustancias pécticas totales	35,8
Azúcares totales 1/2	45,8
Azúcares reductores	30,0
Azúcares no reductores	20,0
Celulosa+cenizas	17,0

Nota: Adaptado de Pulpa de Café Composición tecnología y utilización (p.29) por Braham & Bressani, 1978.

5.5. Fermentación del mucílago de café

El mucílago y las mieles fermentadas de café se generan en forma discontinua, en cantidades que dependen de la producción de café, en cada época y zona cafetera colombiana. Así mismo, las cantidades de mucílago en los frutos varían con la madurez del fruto, es así como los frutos maduros y frescos contienen en promedio 10,4% (entre 1,1% y 27,3%) en peso de mucílago y los granos despulpados un 18,8% (Ríos & Puerta, 2011).

Las fermentaciones son procesos catabólicos de oxidación de sustancias orgánicas, principalmente azúcares que se transforman en energía y en compuestos más simples como etanol, ácido láctico, ácido acético y ácido butírico (G. I. Puerta, 2010).

Estos procesos son desarrollados por las enzimas naturales que producen las bacterias y levaduras presentes en los sustratos. Los productos de las fermentaciones dependen del tipo de bacterias y levaduras, de la composición del sustrato y de las condiciones externas (Schlegel, 1976). En la etapa de fermentación del café que se desarrolla en el beneficio húmedo, ocurren varios procesos de transformación del mucílago, que incluyen despolimerizaciones, fermentaciones, oxidaciones, cambios físico-químicos y se producen ácidos y otros compuestos (Puerta, 2010).

5.5.1. Ácidos presentes en el mucílago de café

Debido a su composición química y microbiana, el mucílago es fermentado en forma natural bajo condiciones ambientales de las fincas cafeteras donde las temperaturas pueden oscilar entre 12 a 34°C. La velocidad de estas degradaciones depende del sistema de fermentación y la temperatura externa, asimismo en el desarrollo y metabolismo de los microorganismos (Ríos & Puerta, 2011).

Las sustancias ácidas presentes en el mucílago de café, incluye los ácidos volátiles como el acético, otros ácidos como el málico, láctico, cítrico, succínico y otros compuestos (Ríos & Puerta, 2011). El mucílago sin fermentar está compuesto por sustancias ácidas, donde se incluye los ácidos volátiles como el acético, otros ácidos como el málico, láctico, cítrico, succínico y otros compuestos y se encontraron variaciones de la concentración de estos ácidos durante la fermentación (Córdoba Castro & Guerrero Fajardo, 2016).

5.6.Efecto de inhibición del fermento de mucílago

En la composición de los residuos del café se han encontrado carbohidratos, proteínas, pectinas, polifenoles (Esquivel & Jiménez, 2012). La concentración de polifenoles varía de acuerdo con la estructura. La mayor concentración se encuentra en la pulpa, en la piel y en el mucílago, respectivamente (Farah & Donangelo, 2006). Según Braham & Bressani, (1978), la composición fenólica de las especies de *coffea arábica* varía entre 1,8 y 8,56%.

El comportamiento inhibitorio sobre el desarrollo radicular de arvenses puede ser debido a los compuestos derivados del metabolismo secundario en estas especies, como terpenos, fenoles, cumarinas y otros, que influyen sobre el crecimiento y desarrollo de los tejidos vegetales afectados, tal como lo indican (Gil et al., 2010).

En todos los fenoles estudiados se observó una notable inhibición del crecimiento radicular, lo que indica que estos fenoles son más inhibidores del crecimiento que de la germinación. Se evaluó la composición fisicoquímica del mucílago de café con métodos cualitativos los cuales arrojaron resultados positivos en cuanto a quinonas, glicosidos taninos y fenoles que han sido reportados como metabolitos bioherbicidas (Duque & Oña, 2007).

5.7.Herbicidas convencionales

Los herbicidas son productos fitosanitarios utilizados para controlar especies vegetales, no deseadas por su impacto negativo en la producción y rendimientos. No existe una única clasificación de herbicidas, ya que los mismos pueden ser clasificados de acuerdo a su época de aplicación, selectividad, tipo de acción, modo de acción (Rosales & Esqueda, 2006).

Cabe aclarar también que un mismo herbicida, puede ser englobado en diversas categorías de clasificación. No obstante, podemos dividirlos en:

- 5.7.1. Selectivos:** aquellos que controlan un objetivo, preservando el cultivo de interés económico.
- 5.7.2. Totales:** generalmente utilizados para limpieza de terrenos donde se controlan todas las especies existentes, sin discriminación.
- 5.7.3. Residuales:** persisten en el suelo controlando la nacencia de malezas provenientes de semillas de especies anuales, al impedir su germinación. Normalmente no son activos sobre especies perennes que rebrotan a partir de rizomas, bulbos o estolones.
- 5.7.4. Preemergentes:** son herbicidas que se aplican antes de la nacencia del cultivo.
- 5.7.5. Postemergentes:** son herbicidas que se aplican después de la nacencia del cultivo.
- 5.7.6. Sistémicos:** se aplican sobre la planta, pero actúan a distancia, al ser traslocado hasta raíz mediante el floema.
- 5.7.7. De contacto:** se aplican sobre la planta actuando localmente en la superficie.

5.8. Problemática causada por los herbicidas convencionales

Reportan que el control convencional de arvenses en cafetales constituye una inversión del 17 al 22%, dentro de los costos de producción de café. Otras estimaciones muestran que los costos del manejo convencional de las arvenses, en las cuales se desnuda el suelo totalmente (control químico, control mecánico con azadón, oscilan entre el 16 y 22% (Hincapié & Salazar, 2007).

De todas maneras, los daños que puede ocasionar el glifosato por su modalidad de aplicación, mezcla y concentración no es el mismo que el utilizado por los arroceros, cultivadores de caña y plátano y otros. Martha Cristina Bustos López señala un promedio tres aplicaciones, del herbicida, antes de cada cultivo, en una dosis de 4 L Ha⁻¹ dos veces al año (Moreno, 2015). Comparativamente, la fumigaciones del Estado aplican una mezcla potencializada de RoundUp Ultra a razón de 12 L ha múltiples veces sobre el mismo territorio (Bustos, 2012); la

cual sobrepasa considerablemente las dosis estándar recomendada para el uso comercial de este producto.

En el país, el glifosato es uno de los herbicidas más utilizados. Se emplea para madurar la caña de azúcar en el Valle del Cauca hace más de 30 años y, como herbicida, en cultivos de café, banano, arroz, cacao, palma africana y cítricos. Igualmente, es el herbicida empleado en el Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos (Salazar et al., 1999).

Los herbicidas de glifosato, como Roundup de Monsanto, son los llamados herbicidas de amplio espectro, porque son tóxicos para casi todas las especies de plantas. En el mundo se usan unas 700.000 toneladas de glifosato cada año (Brändlin, 2018).

Desde hace más de cuatro décadas. Solo en Alemania se riegan anualmente en jardines privados, parques urbanos y vías férreas más de 5.000 toneladas de glifosato. Pero es en la agricultura en donde se usa la mayor parte: el 40% de las tierras cultivables en Alemania es rociada con glifosato. Numerosos estudios han investigado si el pesticida es carcinogénico o mutagénico, o sea si es una sustancia que causa efectos genéticos o reproductivos. El nuevo estudio de la Universidad de Texas, sin embargo, vincula directamente el uso de glifosato con la disminución de las abejas (Brändlin, 2018).

5.8.1. Ambiental

La utilización del glifosato en Colombia tiene como objetivo la erradicación de los cultivos ilícitos, evidenciando altas consecuencias negativas para el medio ambiente: contaminando las aguas, contribuyendo a la deforestación, disminuyendo la disponibilidad de alimentos y afectando la fauna (Bernal, 2018).

El glifosato es un herbicida sistémico de amplio espectro. Esto significa que se mueve a lo largo de la planta, y mata a cualquier planta no modificada genéticamente para resistirla. El modo de acción del glifosato significa que cualquier planta rociada con ella será lesionada o muerta. El glifosato se considera un herbicida de alto riesgo para plantas no objetivo. En tierras de cultivo, la aplicación continua de herbicidas que contienen glifosato puede afectar significativamente cantidad y diversidad de especies de plantas alrededor de los bordes del campo. Estudios que examinan el efecto de la deriva por pulverización de glifosato encontró efectos en el crecimiento y en la composición de especies de comunidades de plantas silvestres expuestas a herbicidas que contienen glifosato a niveles entre 1% y 25% de las tasas agrícolas normales (FOEI, 2013).

Los herbicidas pueden ser arrastrados por la lluvia al agua en zanjas, ríos y arroyos (llamados superficie aguas). También pueden ser arrastrados a través del suelo y las capas de rocas hacia el subsuelo hacia fuentes de agua, como los acuíferos (llamados aguas subterráneas). La razón dada para esto, es debido a que el glifosato se une fuertemente a la mayoría de los suelos, tiene un bajo potencial para moverse a través del suelo para contaminar las aguas subterráneas (FOEI, 2013).

5.8.2. Salud

Varios estudios científicos en el mundo y en Colombia han documentado recientemente los efectos del glifosato y la mezcla de glifosato en la salud humana. Estos estudios han analizado la posible relación entre el herbicida y el cáncer, problemas dermatológicos, abortos, daño a nivel celular, o enfermedades neurodegenerativas. Por un lado, en el año 2015 la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), publicó un reporte en el que concluye que el glifosato es un agente que probablemente puede causar cáncer en los seres humanos (IARC, 2015). Adicionalmente, varios estudios referenciados

en la investigación de Camacho y Mejía de 2013, encontraron una relación entre la exposición al herbicida durante la concepción y la ocurrencia de abortos en el primer trimestre del embarazo (Regidor et al., 2004).

5.9. Herbicidas orgánicos

Los herbicidas orgánicos con ácido contienen ingredientes como limón, lima o vinagre, la concentración ácida del herbicida orgánico es usualmente del 15 al 20 %. El ácido aplicado directamente sobre la hoja de la maleza, destruye la capa protectora (cutícula) de las mismas, induciendo su muerte; de igual manera el ácido puede también caer en las raíces causando la muerte de la planta (Martínez et al., 2015).

El ácido cítrico, así como el ácido acético tienen un pH de 3 por lo que son considerados como herbicidas específicos de base natural, estos ácidos son de post emergencia, herbicidas de contacto que trabajan de diversas maneras, pero básicamente alteran las membranas celulares causando que las plantas des sequen. Funcionan mejor en las plantas jóvenes (Díaz, 2015).

Un problema similar existe con el mucílago del café que contamina de igual manera suelos y aguas. Existe un desperdicio muy grande del mucílago del café, el cual debería ser utilizado para realizar herbicidas orgánicos. Se evaluó la composición fisicoquímica del mucílago de café con métodos cualitativos los cuales arrojaron resultados positivos en cuanto a quinonas, glicosidos taninos y fenoles que han sido reportados como metabolitos bioherbicidas (Hipo, 2017). Se encontraron diferencias significativas, comprobando el efecto herbicida del mucílago de café bajo diferentes tiempos de fermentación y distintas dosis, evidenciando que el tratamiento con el mucílago fermentado durante 40 días aplicado al 100% presenta porcentajes de control en las parcelas experimentales de hasta un 65%, mostrando un amplio rango de control sobre especies

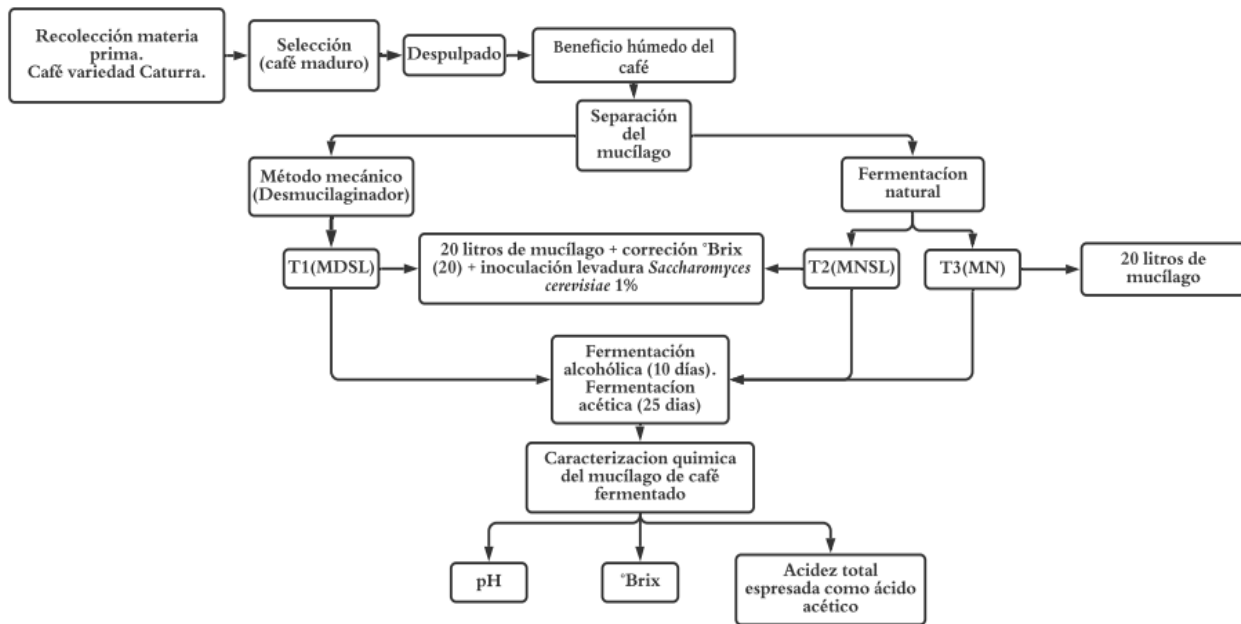
arvenses nobles y principios de intoxicación sobre puntos de crecimiento de especies de las familias Poacea y Ciperácea(Hipo, 2017).

6. Materiales y métodos

6.1.Localización

El proyecto se realizó en los laboratorios de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, localizada en el km 1 vía vereda el Macal del municipio de Pitalito en el departamento del Huila, a una altura de 1318 metros sobre el nivel del mar y con una temperatura que varía entre 17 °C a 26 °C.

Figura 1. Esquema de metodología.



6.2.Recolección de la materia prima

Como materia prima se utilizó café variedad caturra procedente de la finca porvenir ubicado en el corregimiento de criollo a 1410 msnm, perteneciente al municipio de Pitalito departamento del Huila. La recolección de la materia prima se hizo de manera selectiva (figura 2), con el fin de garantizar el mismo estado de madurez para cada una de las cerezas de café, en total

se recolectaron 425 kg de café cereza. Dicha recolección se realizó durante el mes Junio para el tratamiento T1, para el tratamiento T2 Y T3 la recolección y selección se hizo durante los primeros días del mes de Julio, puesto que para el sur del departamento del Huila la época de mitaca del presente año está comprendida durante los meses de junio, Julio y agosto.

Figura 2.Selección manual de granos(a), café seleccionado(b),café a despulpar(c).



6.2.1. Separación del mucílago de café

Una vez recolectado, seleccionado y despulpado el café, se hizo la respectiva separación del mucílago. Se utilizaron dos métodos de separación de mucílago, la primera remoción se realizó mediante un desmucilagador mecánico, obteniéndose la mayor cantidad de mucílago con una menor una menor cantidad de agua, el segundo fue por fermentación natural, el cual se dejó fermentar alrededor de 18-20 horas en tanques, para su desprendimiento. El mucílago de café se almacenó en recipientes y fueron distribuidos para los respectivos tratamientos.

6.3.Tratamientos

Para la fermentación, se establecieron tres tratamientos, de los cuales T1 y T2 se les adicionó sacarosa y levadura *saccharomyces cerevisiae* al 1%. T1 (MDSL) correspondiente a

mucilago de café obtenido mediante desmucilagador; T2 (MNSL) mucilago de café obtenido mediante fermentación natural, y finalmente T3 (MN) mucilago de café extraído por fermentación natural sin adición alguna.

6.4.Preparación de las muestras

El mucilago de café fue sometido a una fermentación anaerobia (fermentación alcohólica); fue necesario realizar una serie de procesos antes de dar inicio a la etapa fermentativa, dentro de los procesos previos a la fermentación fue la corrección de los grados brix (sólidos solubles) y la inoculación de levadura *saccharomyces cerevisiae*.

6.4.1. Corrección de sólidos solubles (°Brix)

Se realizó la corrección de los sólidos solubles de la materia prima, mediante la adición de azúcar (sacarosa) utilizando la ecuación 1, de acuerdo a Villagómez, (2013), en un rango entre 16 y 20%.

Ecuación 1.Formula de corrección de sólidos solubles (°Brix)

$$\text{Peso mucilago (°Brix)} + \text{Azucar (° Brix)} = \text{Peso de mucilago} + \text{Azucar (°Brix)}$$

Nota: Adaptado de Optimización y Aprovechamiento del Residuo (Exudado del Mucilago) de la Almendra Fresca del Cacao (*Theobroma cacao L.*) CCN51 en la elaboración de Vinagre (p.34) por Villagómez, 2013.

6.4.2. Inoculación de levadura *saccharomyces cerevisiae*

Para favorecer los procesos fermentativos del mucilago de café, la inoculación se hizo según Rodríguez & Zambrano, (2015). Se utilizó levadura seca activa rehidrata marca LEVAPAN. Se trabajó levadura al 1 % *p/v*. En un vaso precipitado se depositaron 2.5 ml de agua destilada a una temperatura 30 °C, posteriormente se diluyeron 2.036 gramos de levadura *saccharomyces*

Cerevisiae, se dejó en reposo durante 10 minutos, pasado el tiempo se agregó la levadura activa al mucílago de café.

6.5. Fermentación alcohólica

La fermentación del mucílago de café se realizó en tanques de plásticos cerrados con capacidad de 20 litros (Figura 3), en la parte superior se acondicionó una trampa de gases con el fin de facilitar la salida de los gases producidos durante la fermentación y evitar presiones excesivas, adicional a lo anterior, se añadió en la parte inferior de los tanques a una llave de un solo paso para la extracción de muestras para su respectivo análisis químico. El tiempo del proceso fermentativo tuvo una duración de 10 días para cada uno de los tratamientos, momento en el cual, los °Brix se estabilizaron, indicando la finalización de la fermentación alcohólica. La temperatura ambiente durante el proceso de fermentación fue de 25 °C aproximadamente.

Figure 3. Montaje fermentación alcohólica.



6.5.1. Destilación simple

Al terminar la fermentación alcohólica del mucílago de café, fue sometido a evaporación, utilizando para esto el destilador simple a una temperatura de 80°C, hasta obtener una solución etanol-agua. La destilación simple se hizo con muestras de 250 ml para cada tratamiento, y

teniendo como resultado una mezcla de agua más etanol. El valor promedio está basado con respecto a la densidad del fermento de mucilago de café.

El calentamiento del sistema de destilación se llevó a cabo empleando la fuente de energía proporcionada por un mechero, el equipo utilizado consta de un termómetro, balón y un refrigerante. Con este procedimiento se buscó evidenciar, el rendimiento de alcohol producido para cada uno de los tratamientos durante la etapa de fermentación, ya que es necesaria la presencia de etanol para su respectiva conversión a ácido acético.

Figure 4. Montaje de destilación simple.



6.6. Fermentación acética

El resultado de la fermentación alcohólica de mucilago de café se depositó en recipientes con capacidad de 20 litros para el inicio de la fermentación. El proceso de acetificación se llevó a cabo durante 25 días, a una temperatura ambiente entre 19 y 23 °C. Cabe destacar que durante la fermentación acética los tratamientos estuvieron tapados con una malla para evitar la

contaminación física de los tratamientos y así estar en contacto directo con el oxígeno del ambiente.

6.7. Análisis químico de mucílago de café fermentado

6.7.1. Determinación pH

El parámetro de pH de cada muestra se determinó mediante un potenciómetro InoLab®, pH 7110, el cual fue calibrado previamente al análisis.

6.7.2. Determinación de sólidos solubles (°Brix)

Se utilizó un refractómetro portátil 00-80° Brix con ATC Ref: 3085, en el cual se colocó una gota de cada uno de los diferentes tratamientos.

6.7.3. Determinación de acidez

Para la determinación de la acidez total, expresada como ácido acético según MÉTODO AOAC 930.35, se utilizó como reactivo hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1% mol, y se procedió a colocar 5 ml de mucílago de cada tratamiento a titular en un matraz Aforado de 50ml, para posteriormente enrasar con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 ml y se agregó 3 gotas de fenolftaleína.

6.8. Diseño experimental

Se realizó un diseño en parcelas divididas con bloques completos al azar con tres repeticiones por cada dosis de aplicación. El área total de las parcelas es de $0.75m^2$ y están divididas en 3 secciones (repeticiones) de $0.25m^2$ y estas están subdivididas en $0.01m^2$ (cuadrícula). Cada tratamiento tiene un total de 2 parcelas, que corresponde a dos tipos dosis (100% y 50%); las parcelas estipuladas para la dosificación de 100% tuvieron una aplicación de mucílago de café fermentado de 3L y la aplicación de las parcelas de dosis de 50% fue de 1.5L de

mucilago de café fermentado diluido con 1.5L de agua. Los tratamientos y parcelas cuentan con la misma cantidad de área experimental y unidades experimentales homogéneas a fin de disminuir la magnitud del error experimental.

6.9. Aplicación de mucilago de café fermentado a arvenses

Se determinó el efecto de fito-toxicidad sobre las arvenses presentes en el lote experimental. Una vez se prepararon las dosificaciones estipuladas (100% -50%) del mucilago de café fermentado con propiedades herbicidas, se aplicaron con un atomizador con capacidad 600ml a las unidades experimentales. Se realizó la aplicación de manera homogénea.

6.10. Determinación de fitotoxicidad en arvenses

La fitotoxicidad se realizó a partir de las 72 horas después de la primera aplicación, y estas se realizaron cada 3 días. La fitotoxicidad se determinó de manera visual y por área afectada ($0,01m^2$) para cada tratamiento, y se capturaron fotos que mostraban la sintomatología de arvenses por m^2 de cada parcela.

Se determinó el porcentaje de control de arvenses, de acuerdo a la escala sugerida por la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM) (tabla 2).

Tabla 2. Escala sugerida por la Asociación Latinoamericana de Maleza ALAM.

Índice	Nivel de control(%)	Descripción del control
0	0-40%	Ninguno a Pobre
1	41-60%	Regular
2	61-70	Suficiente
3	71-80%	Bueno
4	81-90%	Muy bueno
5	91-100%	Excelente

Nota: Adaptado de Resumen del panel de métodos de evaluación de control de malezas en Latinoamérica, por ALAM 1974.

6.11. Análisis estadístico

Se realizó un ANOVA simple, para los parámetros pH, °Brix, acidez total, antes y después de los procesos de fermentación, y determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas, se utilizó una prueba de Tukey al (5 %), con un nivel de confianza del 95%, y un porcentaje de error 5 % usando el programa estadístico Statgraphics versión XVI.

7. Resultados y discusión

7.1. Caracterización química de materia prima

En la tabla 3 se muestran los parámetros químicos iniciales del mucílago de café fresco, teniendo en cuenta los diferentes métodos de separación, desmucilagador y fermentación natural.

Tabla 3. Resultados caracterización de la materia prima.

Mucílago de café		Parámetros		
		pH	Sólidos solubles	Acidez
Método de separación	Desmucilagador	$3,509 \pm 0,008^a$	$12,466 \pm 0,057^a$	$1,240 \pm 0,034^a$
	Fermentación natural	$4,058 \pm 0,017^b$	$2,466 \pm 0,057^b$	$0,220 \pm 0,034^b$

Para cada uno de los parámetros existe diferencia estadísticamente significativa. Estas diferencias se observaron principalmente por el contenido de agua disuelto con el mucílago y a las horas de fermentación previas al lavado del café, puesto que al utilizar el desmucilagador mecánico el contenido de agua es muchísimo menor en comparación al agua utilizada para la remoción del mucílago por fermentación natural. Según investigaciones realizadas por Rodríguez et al., (2015), el desmucilagador mecánico tiene un consumo específico de agua entre 0,7 y 1,0

L.kg⁻¹ de cps, mientras que por lavado natural el consumo es de más de 5 L de agua /kg cps. Estudios realizados por Peñuela et al. (2010), en el cual analizan el comportamiento del pH durante la etapa de fermentación natural de mucilago de café, cuyo comportamiento muestra una inclinación descendente, donde el café despulpado entra al tanque con un pH inicial de 5.0 y finaliza el proceso con un pH de 3.1 para café clasificado y de 3.5 para café sin clasificar, de igual manera Puerta (2012), indicó que las variaciones que presenta el pH durante la fermentación del café es diferente dependiendo de la calidad del grano, del sistema y de la temperatura externa, también hace referencia a valores de pH del mucilago fermentado entre 3.7 y 4.1, son adecuados y seguros para interrumpir la fermentación y lavar el café. Con respecto a los valores obtenidos en la presente investigación nos muestra que tanto para el método mecánico y método natural los valores promedio de pH 3.51 y 4.06 respectivamente, se encuentran dentro de los parámetros mencionados por lo anteriores autores.

Con relación a los sólidos solubles, los resultados que se muestran en la tabla 3, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a los métodos de separación, teniendo en cuenta que la medición de los parámetros se realizó pasadas las 18 horas de la fermentación natural. La recolección del mucilago se hizo del primer lavado, que es donde se encuentran la mayor concentración de sólidos solubles. En cuanto al proceso mecánico (desmucilagador) la separación se hizo de manera inmediata, es decir sin fermentación previa, el porcentaje obtenido (12.47) se estimó que el café fisiológicamente se encontraba en un estado pintón de acuerdo a Puerta, (2012). De acuerdo a Caiza, (2016) se encontró que para sistemas sumergidos hay una degradación de sólidos solubles, y presentó un decrecimiento brusco en el valor de los grados brix de 17.6 hasta 7.5, siendo similar el comportamiento con respecto a los valores obtenidos al finalizar la fermentación natural (2.46).

La medición de los sólidos solubles pudo haberse afectado ya que el mucílago no solamente está compuesto sacarosa si no por otros compuestos como ácidos, alcoholes, ésteres, polisacáridos (Puerta, 2012); para Caiza, (2016), los sólidos solubles presentaron valores menores en el segundo lavado de (1.90), el cual es un valor cercano al obtenido en la presente investigación. Probablemente por la disolución de sólidos en agua se presentaron los °Brix relativamente bajos para el mucilago obtenido mediante fermentación natural.

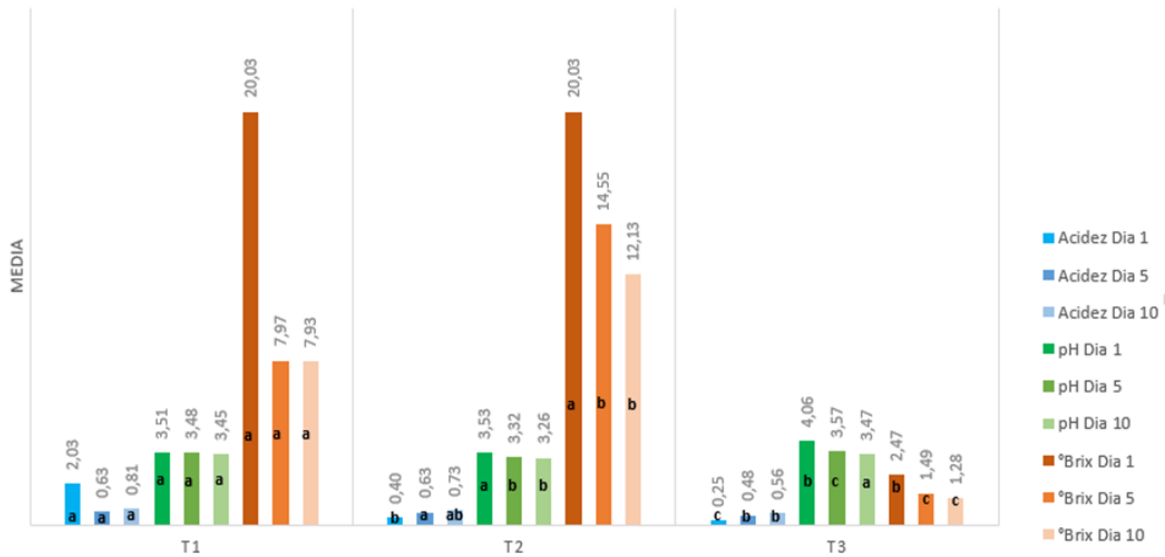
La acidez del mucílago de café es aportada principalmente por diferentes ácidos (acético, málico, láctico, cítrico, succínico) y otro tipo de compuestos. El porcentaje de acidez total expresa como ácido acético, presenta una diferencia estadísticamente significativa para los dos métodos de separación, se presentó valores promedios para el método mecánico y fermentación natural de 1.24 y 0.22% respectivamente. Por tanto, los valores para la investigación difieren con los reportados por Puerta, (2013) en el que los rangos de ácido acético mediante método de fermentación natural se encuentran entre 0,096% y 0,135%. Elhalis et al. (2020) encontraron un aumento de 2-3 veces mayor de la concentración de ácido acético durante la fermentación del café, de igual manera Avallone et al. (2002) encontraron aumento de ácidos láctico y acético con el tiempo de fermentación del café.

7.2.Fermentación alcohólica

Tabla 4. Caracterización química de la fermentación alcohólica después de 10 días.

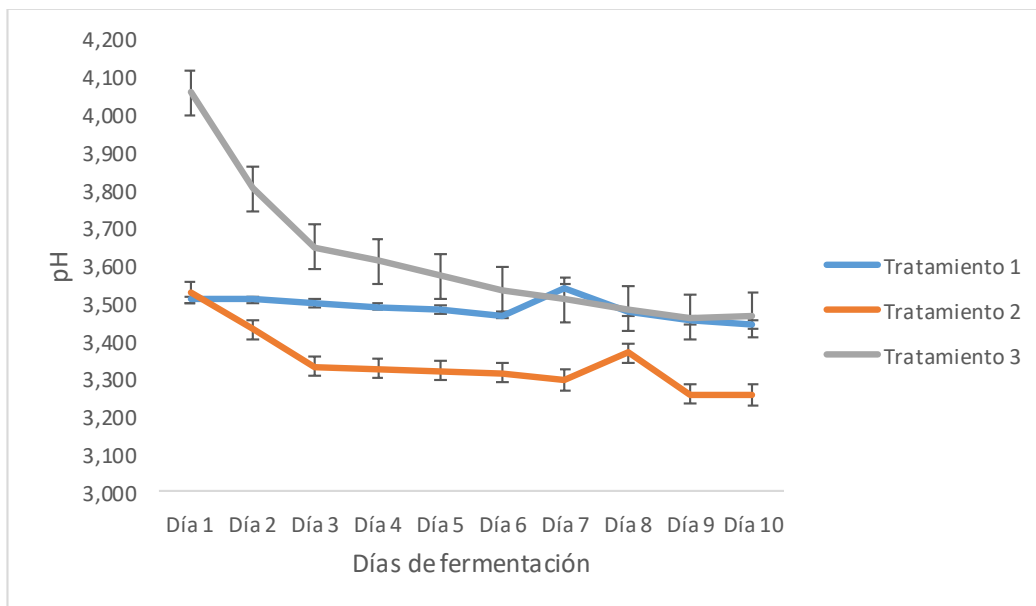
Tratamientos	pH	Sólidos solubles	Acidez
T1	3,45 ± 0,023 ^a	7,90 ± 0,057 ^a	0,81 ± 0,030 ^a
T2	3,26 ± 0,007 ^b	12,10 ± 0,287 ^b	0,73 ± 0,144 ^{ab}
T3	3,47 ± 0,024 ^a	1,30 ± 0,132 ^c	0,56 ± 0,090 ^b

Figure 5. Caracterización química durante toda la fermentación alcohólica.



7.2.1. pH

Figura 6. Comportamiento de pH durante la fermentación alcohólica

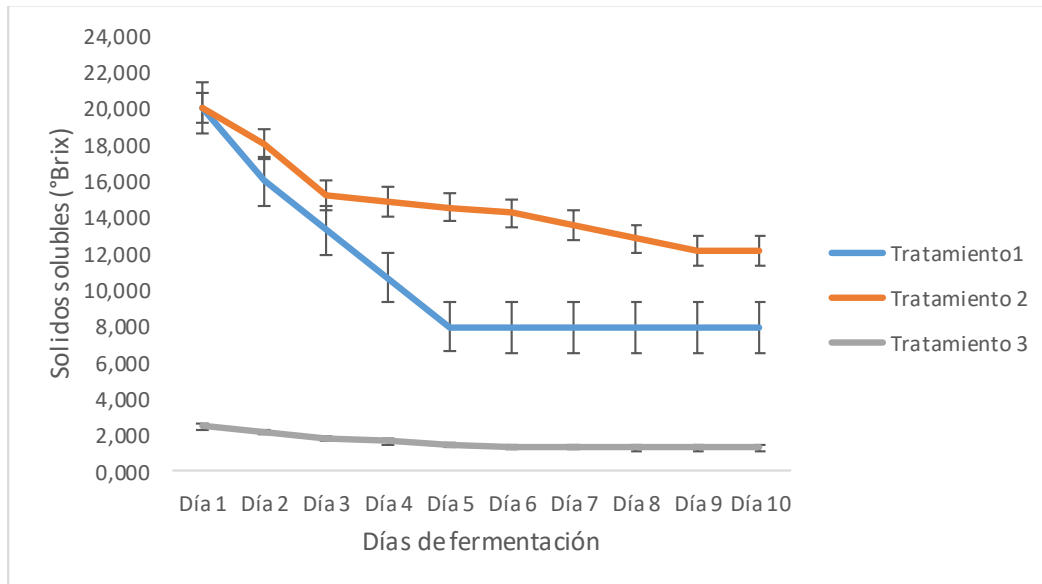


Los valores de pH presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos con respecto al tiempo de fermentación. El pH bajó rápidamente el tercer día, luego gradualmente disminuyó hasta el sexto día, posteriormente hubo un aumento progresivo entre los días seis y siete

evidenciando diferencias significativas en todos los tratamientos, Esto podría haber ocurrido debido a la falta de nutriente, ya que la levadura comienza a consumir ácidos orgánicos como fuente de alimentación. De manera similar, las fuentes de nitrógeno se descomponen en amoníaco por la levadura, que atrae a los protones para formar amonio en la solución acuosa, lo que provoca un aumento del pH (Akin et al., 2008). Finalmente, el día diez disminuyó presentando diferencias estadísticamente significativas para T2 respecto a los demás tratamientos. La caída máxima del pH se observó hasta el tercer día en los tratamientos T2 y T3, como se observa en la figura 6. Esto muestra una conversión más rápida de azúcar en ácidos en los tratamientos dos y tres. En términos de pH, la fermentación se puede clasificar en dos fases: disminuye durante la primera y luego aumenta (Akin et al., 2008). La caída del pH puede deberse al consumo de glucosa y la producción de etanol y ácidos orgánicos por la levadura. La producción de estos ácidos reduce el pH a condiciones ácidas (Coote & Kirsop, 1976). Durante la fermentación alcohólica, el pH, inicialmente por debajo de 4 debido a la presencia de ácido cítrico en el mucílago, aumenta lentamente junto con la temperatura, creando así las condiciones ideales de crecimiento para LAB (bacterias lácticas) y AAB (bacterias acéticas) (Eyamo et al., 2016). Además del azúcar, el valor del pH también debe ajustarse con algún ácido, como el ácido tartárico. Ya que el rango de pH del vino se establece entre 2,8 y 4,2 (Aranda et al., 2011).

7.2.2. Sólidos solubles

Figura 7. Comportamiento de sólidos solubles durante la fermentación alcohólica.



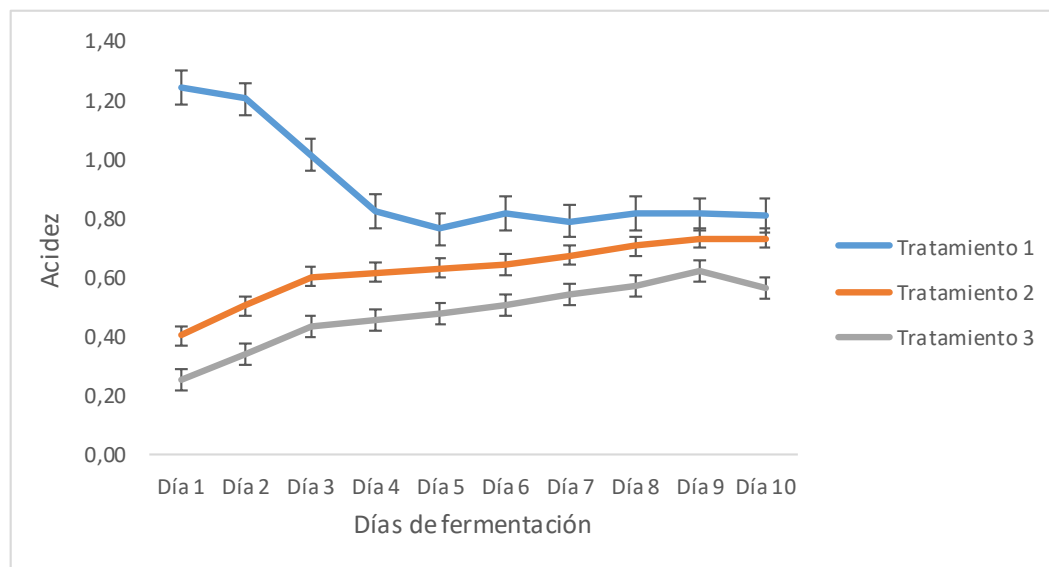
Para los tratamientos T1 y T2, se observó un mayor descenso de los sólidos solubles (figura 7), lo cual indica que el pretratamiento de este residuo antes de la fermentación favorece la hidrólisis y la conversión de los azúcares hasta etanol (Rodríguez , 2015). Se evidenció que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación los sólidos solubles varían de acuerdo a la descomposición de la biomasa, por tanto, los porcentajes disminuyeron hasta estabilizarse, siendo esta tendencia similar al reportado por (Puerta, 2013;Arguedas, 2014).

La figura 7 muestra que el contenido de sólidos solubles (SS) disminuyó ligeramente en el tratamiento T1, hasta el día cinco alcanzando valores de 7,97 °Brix, mostrando diferencias estadísticamente significativas con respecto a los demás tratamientos, lo cual está asociada al crecimiento exponencial y mayor consumo de sustrato por parte de las bacterias fermentativas. Después el proceso se disminuye progresivamente debido a que cada vez es menor la disponibilidad de azúcares. Se observó que al iniciar con una concentración de mayor de sólidos

solubles lo hace más efectivo para producir etanol debido a la cantidad de azúcares presentes al inicio del proceso fermentativo, según Blandón et al., (2013) finalmente se mantuvo constante. El contenido de sólidos solubles se mantuvo relativamente constante durante toda la fermentación para el tratamiento T3 con un valor 1,61% durante todos los días de fermentación se evidenciando un mínimo contenido de azúcares debido a que el mucilago se encuentra diluido, ya que al momento del proceso de despulpado tiende a mezclarse con el agua, lo que ocasiona que la concentración de grados Brix del mucilago disminuya (Funes et al., 2012).

7.2.3. Acidez

Figura 8. Comportamiento de acidez durante la fermentación alcohólica.



Adicional al control de azúcares durante la fermentación alcohólica es de gran importancia el control de la acidez, puesto que la generación de diferentes tipos de ácidos influye en la velocidad de la fermentación, ya que puede modificar el funcionamiento de las levaduras. La prueba de Tukey, determinó que se presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto al tratamiento T1 y T3, y entre los tratamientos T1 y T2 no existe diferencia estadísticamente significativa. T1 presentó valores entre 1.24 % al inicio y al final de 0.81 %

respectivamente, el comportamiento de la acidez total expresada como ácido acético durante la fermentación alcohólica, muestra una tendencia descendente para el tratamiento T1, indicando una disminución de la acidez en el fermento de mucílago de café, el cual corresponde a la degradación de ácidos orgánicos predominantes en el mucílago de café.

Los tratamientos T2 y T3 presentan un comportamiento un completamente diferente, con respecto al T1, iniciaron la etapa fermentativa con un porcentaje promedio de ácido acético de 0.40 y 0.25% respectivamente, durante el proceso de fermentación, la acidez expresada como ácido acético fue aumentando paulatinamente terminando a los diez días con un porcentaje de 0.73 y 0.56 %, Gallego, (2007) menciona que un incremento de la acidez es un indicador de la presencia de bacterias en el proceso de fermentación, ya que los ácidos son tóxicos para las levaduras y un alto contenido de estos incrementa el tiempo de fermentación disminuyendo la eficiencia y la producción de etanol. Un excesivo incremento de la acidez puede asociarse a la presencia de bacterias anaeróbicas y/o acéticas; que conllevan un deterioro en la calidad del producto alcohólico (Romero, 2012). Los ácidos orgánicos (ácido succínico, ácido acético, ácido láctico, etc.) son producidos en pequeñas cantidades durante la fermentación alcohólica. La influencia sobre el pH es débil, pero la variación de su disociación con la concentración de etanol lo cual se hace necesario tenerlos en cuenta en el proceso de fermentación alcohólica (Akin et al., 2008), diferentes autores también han sugerido dentro de su investigación que el proceso de fermentación alcohólica causa marginal cambios en la concentración de ácidos orgánicos individuales (por ejemplo, ácido málico) o formado como subproductos (por ejemplo, ácido acético). El incremento de acidez durante la fermentación alcohólica en los tratamientos T2 y T3 se debe a la formación o a presencia de ácidos, en nuestro caso ácido acético.

7.2.4. Destilación simple

Una vez se dio por terminada la etapa de fermentación alcohólica de los tres tratamientos, se hizo necesario llevar a cabo el proceso de destilación simple, este proceso se realizó con el fin de evidenciar la producción de etanol para cada uno de los tres tratamientos, puesto que para la siguiente etapa (fermentación acética) el porcentaje de etanol producido favorece el buen desarrollo de las bacterias acéticas, para una buena obtención de ácido acético.

Tabla 5. Resultados del porcentaje de etanol.

Tratamiento	Densidad 20 °C (g/ml)	% en peso de etanol
T1	0,9788	13,57
T2	0,9923	4,25
T3	0,9988	0,65

Figure 9. Comprobación de contenido de etanol para los tratamientos T1(a), T2(b), T3(c)



En la tabla anterior se observan los resultados obtenidos en la producción de etanol de los tratamientos. Al analizar los datos del peso del etanol (%) para los tratamientos T1 Y T2 se obtuvo 13.57 y 4.25 % respectivamente, los cuales resultan ser buenos en la producción de bioetanol, es importante resaltar que a estos tratamientos se les realizó una inoculación de 1% de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, Nair et al., (2017) mencionan que utilizando microorganismos convencionales como levadura *Saccharomyces cerevisiae* se considera un microorganismo exitoso para diversas aplicaciones biotecnológicas, procesos e industrias, por ejemplo, para la obtención

de bioetanol. El azúcar también juega un papel importante en la producción de etanol y es obvio que los azúcares fermentables en los tratamientos T1 y T2 estaban disponibles en buena cantidad de ahí el rendimiento de etanol en estos tratamientos.

El valor promedio del tratamiento T1 fue comparativamente mayor que el valor informado por Triviño & Contreras (2017) cuyo peso del etanol (%) para la pulpa de café fue de 3.85%, 6.60% con pulpa de café y levadura, 6.4% para el mucílago de café y por último 6.9% con mucílago de café y levadura. Con respecto al tratamiento T2 su valor promedio es mayor al valor mencionado para la pulpa de café (3.85%). El tratamiento T3 inició el proceso de fermentación alcohólica con el valor promedio de sólidos solubles iniciales de 2.5% de la materia prima (mucílago obtenido mediante fermentación natural), los cuales resultan ser muy bajos, con respecto a los valores de los demás tratamientos, y de la misma manera no se efectuó la inoculación de la levadura, el peso promedio del etanol (%) para el tratamiento T3 es de 0.65%, valor que resulta ser mayor con respecto a los valores obtenidos en la investigación de (Funes et al., 2012) donde fermento mucílago de café de manera natural con inoculación de levadura a diferentes concentraciones 6, 4, y 2%, y los resultados del peso del etanol fue de 0.17, 0.07 y 0.10% para cada concentración de levadura respectivamente. De los porcentajes de etanol obtenidos, el valor promedio del tratamiento T1 fue el mejor, con respecto a los demás tratamientos, cuyo porcentaje influye directamente en la producción de vinagre, el cual, tiene como componente principal el ácido acético, y es tradicionalmente producto de la fermentación de soluciones alcohólicas naturales, que contienen entre un 10% y un 15% en volumen de alcohol (Merli et al., 2021). En diferentes investigaciones, Joyeux et al. (1984) y Kösebalaban & Özilgen (1992) fueron capaces de cultivar bacterias de ácido acético en estas concentraciones de alcohol. Vaughn (1955) afirmó

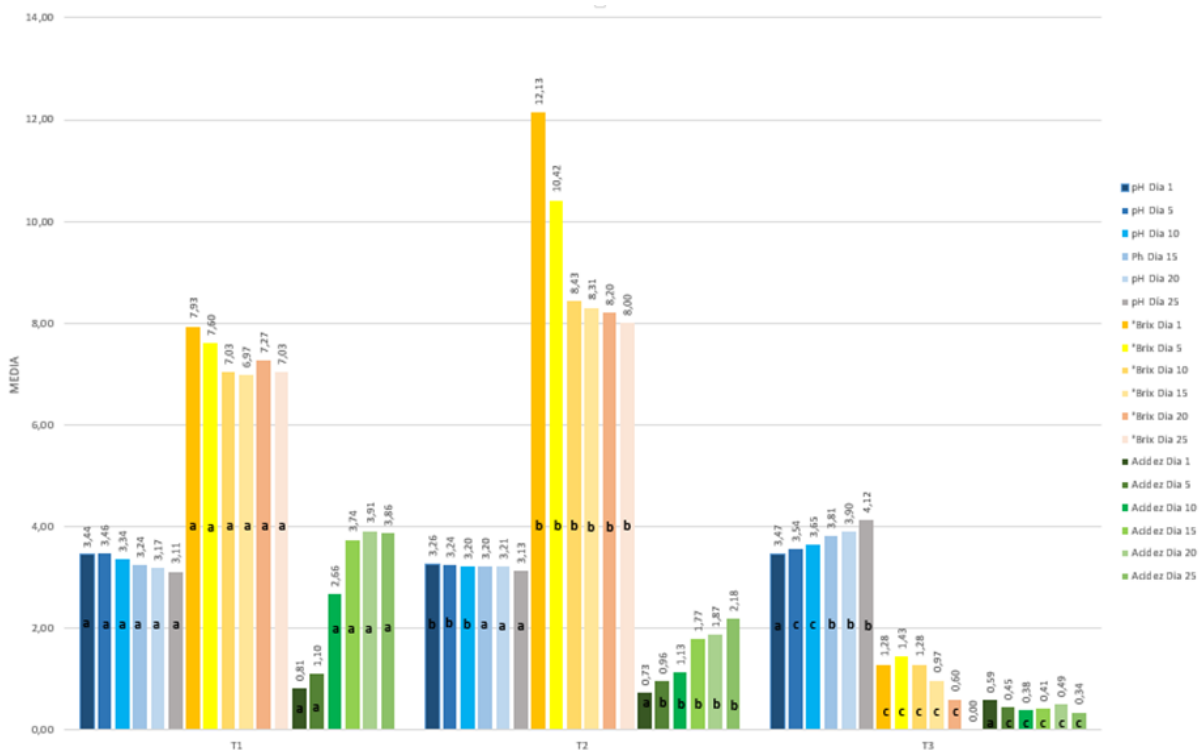
que la concentración máxima de alcohol tolerado por estas bacterias está entre el 14 y el 15% (v / v).

7.3. Fermentación acética

Tabla 6. Caracterización química, último día de fermentación acética después de 25 días.

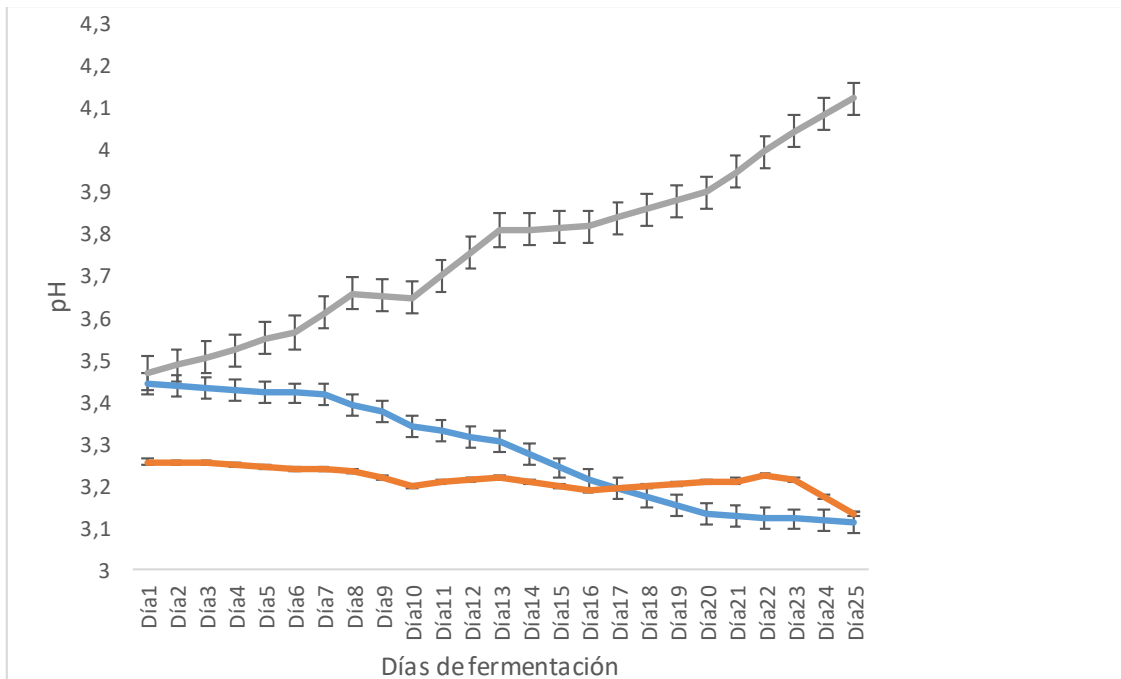
Tratamientos	pH	Sólidos solubles	Acidez
T1	3,11 ± 0,002 ^a	7,00 ± 0,057 ^a	3,86 ± 0,034 ^a
T2	3,13 ± 0,017 ^a	8,00 ± 0,000 ^b	2,18 ± 0,030 ^b
T3	4,12 ± 0,055 ^b	0,00 ± 0,000 ^c	0,34 ± 0,031 ^c

Figura 10. Caracterización química durante toda la fermentación acética.



7.3.1. pH

Figura 11. Comportamiento de pH durante la fermentación acética.

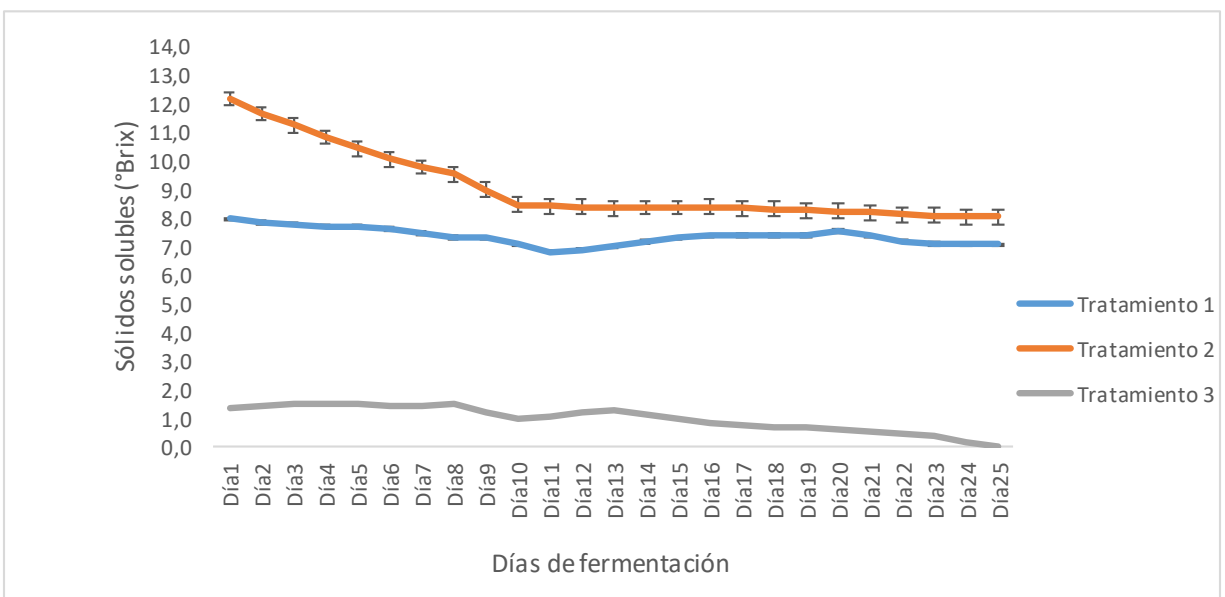


La figura 11 muestra los cambios en el pH de los tres tratamientos durante la fermentación acética. Evidenciando que tanto el tratamiento T1 y T3 tenían un pH inicial ($3,44 \pm 0,022$ - $3,47 \pm 0,026$) respectivamente, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos, en relación del tratamiento T2 que fue consistentemente más bajo ($3,26 \pm 0,008$) al inicio de la fermentación. El tratamiento T3 tuvo un aumento progresivo durante toda la etapa fermentativa, con un valor final de ($4,12 \pm 0,055$) a diferencia de los otros dos tratamientos que presentan un descenso hasta alcanzar un pH final ($3,11 \pm 0,002$, $3,13 \pm 0,017$) muy similar a lo reportado por Roda et al., (2017) donde el pH inicial del vino de piña fue 3.78, y disminuyó a 3,00 después de 30 días de fermentación acética. Presentando una disminución evidentemente más significativa el tratamiento uno, confirmando los resultados de Sossou et al., (2009), donde observaron que el pH disminuyó de 4,40 a 2,90 durante la fermentación acética y el grado de acidez se incrementó con

el tiempo de fermentación, destacando así una correlación lineal inversa entre la evolución de ácido acético y el pH durante la producción de vinagre. Además Hidalgo et al., (2010), asegura que las bacterias acéticas (AAB) pueden desarrollarse en pH cercanos a la alcalinidad como 5 y 6. Sin embargo, estas condiciones no contribuyeron al desarrollo óptimo del crecimiento de las bacterias acéticas. También pueden crecer a valores de pH más bajos, donde se ha detectado actividad bacteriana para valores de pH inferiores a 3 De Vero et al., (2006). Mateo et al., (2014) también observo el crecimiento de AAB en vino con valores de pH de 3,0 a 4,1, mientras que Kittelmann et al., (1989) aislaron cepas de AAB a un pH de 2,0 a 2,3. Sin embargo, la tolerancia al pH bajo depende en gran medida de otros parámetros, como la concentración de etanol y la disponibilidad de oxígeno. En particular, la alta concentración de etanol (12,5%) aumenta la sensibilidad al pH, como se observa en *A. pasteurianus* (Dupuy y Maugenet, 1963 citado en Du Toit & Pretorius, 2002). Cuando el pH es inferior a 3,4 la baja concentración de oxígeno provoca una rápida disminución del número de células viables de *A. acético* (Joyeux et al., 1984).

7.3.2. Sólidos solubles

Figura 12. Comportamiento de sólidos solubles durante la fermentación acética.



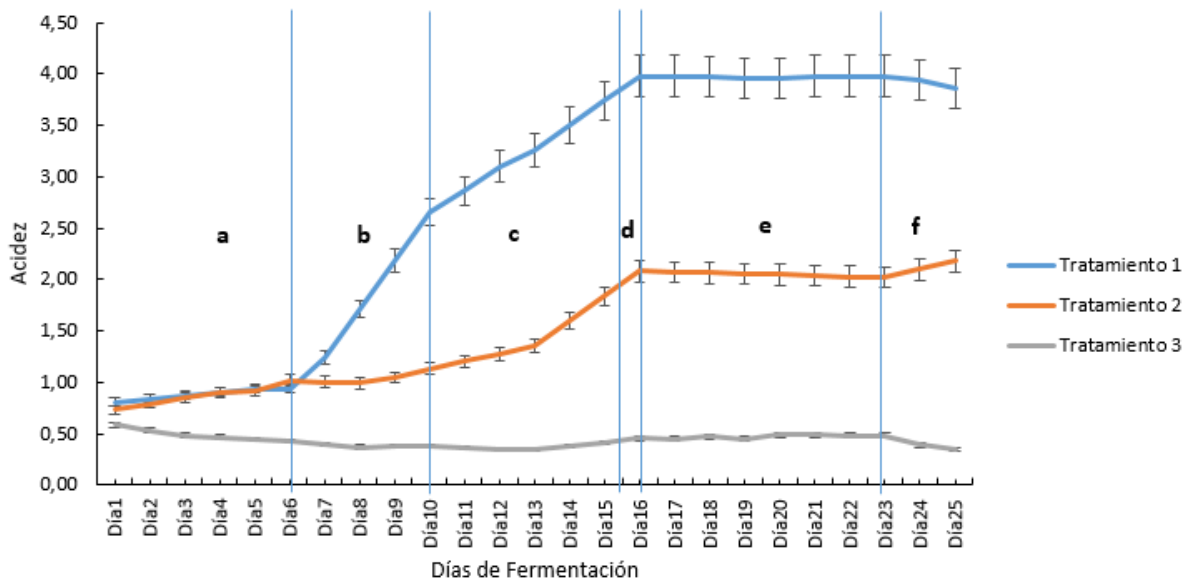
Los resultados de la fermentación del ácido acético con diferentes concentraciones iniciales que se evidencia en figura 12, presentando el día uno las siguientes concentraciones de 1.3, 7.9 y 12.1 de sólidos solubles (°Brix). En el caso de 1.3 °Brix (tratamiento 3), tuvo un aumento progresivo y disminuye el día 10, luego incrementa paulatinamente y decrece con una concentración de 0 °Brix al final de la fermentación, siendo muy similar al comportamiento del tratamiento uno, presentando una pequeña disminución de los sólidos solubles mostrando un descenso poco significativo, a diferencia con el comportamiento del tratamiento T2. Según investigaciones por (Kang et al., 2011) en la fermentación de ácido acético usando concentrado de manzana 1 °Brix, la inducción del crecimiento bacteriano temprano se retrasó debido al bajo contenido de sustrato. En el caso del tratamiento T1 presentó un descenso significativo el día 11 con una concentración de 6,8°Brix muy similar a lo reportado por Bazirake et al., (2014) en el extracto de cáscara de plátano tenía una cantidad ligeramente baja de azúcares (6,9 °Brix). Esto requirió una mejora para elevar los niveles de azúcar para proporcionar una adecuada adición de nutrientes para la fermentación de la levadura.

Para el tratamiento T2 hubo una disminución significativa hasta el día 10 con un valor de 8.4°Brix, lo cual es un proceso que se presenta en la fermentación acética con reducciones en azúcares y sólidos solubles, con aumentos concomitantes en acidez y estabilizaciones en pH. Esto se debe a las acciones amortiguadoras de los ácidos débiles no ionizados y la formación de ácido acético durante el período de fermentación (Roda et al., 2017). Sin embargo, existieron diferencias significativas en la concentración de sólidos solubles en todos los tratamientos debido a la concentración inicial de azúcares y el tiempo de acetificación. En el caso del tratamiento T3 y T1 los sólidos solubles aumentaron debido a la evaporación de componentes como el etanol. Esto concuerda con el hecho de que los alcoholes orgánicos junto con el resto de líquidos a fermentar

por las bacterias son en su mayoría volátiles y la mezcla de estos será más o menos volátil dependiendo de la presión de vapor y la fracción molar de cada componente dentro de la mezcla (Rodríguez & Sarabia, 2012).

7.3.3. Acidez

Figura 13. Comportamiento de acidez durante fermentación acética.



La etapa fermentativa se dio por terminada a los 25 días para los tres tratamientos. Para el primer día de fermentación se observó que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos T1 y T3, siendo los valores promedios de 0.81 y 0.58 % respectivamente, para los tratamientos T1 y T2 presenta similitud, con un valor de acidez promedio para T2 de 0.73%. Se observó que hubo una producción de ácido acético considerable para los tratamientos T1 y T2. El comportamiento del porcentaje de acidez versus los días de fermentación para los tratamientos T1 y T2 muestran el comportamiento normal de la curva de crecimiento microbiano la cual, según Black, (1996) consta de seis fases: la primera fase es la adaptación, donde las bacterias se adecuan al medio, se observa que durante el día 1 y 6 (a), el valor promedio de acidez

permanece constante, lo que nos indica que las bacterias del ácido acético se encontraban en fase de adaptación. La segunda fase donde el crecimiento es acelerado se observó a partir del día 6 tanto para T1 y T2(b), la fase exponencial o donde la velocidad de crecimiento es máxima, la cual se presentó a partir del día 10 hasta el día 16(c) para el tratamiento T1 y a partir del día 13 hasta el día 16(c) para el tratamiento T2. La fase número cuatro es donde se presenta un crecimiento desacelerado(d). La quinta fase (estacionaria), las bacterias llegan a su estabilidad y permanecen constantes, los tratamientos presentaron valores constantes a partir del día 16 hasta el día 23(e), y la última fase es donde sucede la muerte de las bacterias(f). El porcentaje de acidez expresada como ácido acético para los tratamientos T1 y T2 al finalizar la fermentación fue de $3,86 \pm 0,035^a$ y $2,18 \pm 0,031^b$ respectivamente.

El comportamiento que presentó el tratamiento T3 fue completamente diferente con relación a los demás tratamientos y al comportamiento de la de la curva de crecimiento microbiano, puesto que durante los 6 primeros días de fermentación su valor promedio permaneció constante, y durante el día 6 hasta el día 15 presentó una disminución de acidez, y a partir del día 16 la acidez permaneció constante, el porcentaje de ácido acético para T3 al final de la fermentación fue de $0,34 \pm 0,031^c$ indicando de esta manera que no tuvo un proceso de acetificación satisfactorio, es importante resaltar que durante el proceso de destilación simple para este tratamiento T3, no se logró extraer un porcentaje de etanol representativo, y se sabe que el porcentaje de etanol resulta ser fundamental para el buen desarrollo de las bacterias acéticas, ya que si el etanol baja a valores inferiores a 0,2% en volumen, se corre el riesgo que el ácido acético formado se oxide completamente a CO_2 y H_2O y consecuentemente se generarían pérdidas en el rendimiento García et al., (2009). Para Lalou et al., (2019) un contenido de alcohol del 5% al 7% (v / v), es la mínima cantidad para garantizar la producción de > 5% p / v de ácido acético. La conversión oxidativa de

soluciones que contienen etanol por bacterias del ácido acético conduce a la producción de vinagre, cuyo componente principal es el ácido acético (Ebner & Enenkel, 1978; Raspor & Goranovic, 2008).

El porcentaje de ácido acético en el tratamiento T3 fue inferior al porcentaje indicado por Samayoa et al., (2014), que utilizó como sustrato para la producción de ácido acético comercial el agua miel producida durante el lavado del café, mediante el cual no logró la producción de porcentajes representativos en ninguna de las muestras; el mayor porcentaje obtenido fue de apenas 0.756%.

Los resultados muestran que la mayor producción de ácido acético se logró mediante el tratamiento T1, siendo el valor promedio de producción final de 3,86% valor que se aproxima a los valores obtenidos en dos tratamientos a partir del fruto de ovo, investigación realizada por (Chamarro & Herrera, 2012), donde se utilizaron cepas de *Acetobacter Acetic* en el mosto a fermentar, sus valores más altos en la producción de ácido acético fueron 3.91 y 3.83 %. De igual manera valor de acidez en éste tratamiento fue comparativamente menor, pero muy cercano al valor informado por (Li et al., 2014) donde utilizó *Hericium erinaceus* como sustrato para la fermentación de vinagre, y su porcentaje de ácido acético fue de 4.06%. Valores cercanos a 4 son muy buenos y diferentes autores indican que valores de 3 y mayores son aceptables. El proceso de acetificación se hizo de manera natural, no se realizó ningún tipo de inoculación de *Acetobacter Aceti* para la respectiva producción de ácido acético. Hidalgo et al., (2013) en su investigación realizó 6 fermentaciones con mosto de fresa, tres en condiciones espontaneas y tres fueron inoculadas con cepa de levadura e inculo de madre de vinagre, la concentración de ácido, los procesos de acetificación realizados de forma espontánea no alcanzaron más del 3,5% (p / v) de ácido acético, y después de 40 días, la concentración de ácido acético comenzó a disminuir; puesto

que las dos fermentaciones se hicieron de manera natural, nuestro fermento de mucílago de café tuvo una mayor producción de ácido acético con respecto a los valores de producción reportados del mosto de fresa.

7.4. Fitotoxicidad

En el siguiente cuadro se presentan los datos finales de los parámetros evaluados del mucílago de café fermentado de los tres tratamientos a cumplir los 35 días.

Tabla 7. Composición química del mucílago de café fermentado, último día de fermentación acética.

T1	
pH	3,11 ± 0,002
Sólidos solubles	7,00 ± 0,057
Acidez	3,86 ± 0,035
T2	
pH	3,13 ± 0,017
Sólidos solubles	8,00 ± 0,000
Acidez	2,18 ± 0,031
T3	
pH	4,12±0,055
Sólidos solubles	0,00 ± 0,000
Acidez	0,34 ± 0,031

De acuerdo a los datos obtenidos en la investigación de (González et al., 2010) donde la composición química del exudado del grano de cacao, presenta datos similares en la acidez con respecto al tratamiento T1, con valores de acidez 4, 02 y pH de 3,76, mostrando buenos resultados en concentraciones de 100% para la inhibición de germinación de semillas de rábano.

7.4.1. Sensibilidad de las malezas

A las 72 horas de la primera aplicación el tratamiento T1-100% presento clorosis, marchitamiento con una coloración de las arvenses marrón, con un nivel de control de 81% (Muy bueno), los efectos que se presentaron con la segunda aplicación fueron más severos con respecto

a la primera aplicación, arvenses destruidas con un 93,3% de daño, presentado una clorosis crónica y un marchitamiento total de las hojas. Para la última aplicación se presenta un efecto completo, 100% de daño, plantas totalmente secas, todas las arvenses presentaron un color café, es decir muerte completa total.

El tratamiento T2-100% presentó un efecto menor al efecto causado por el T1 con un porcentaje de 22,60 para la primera aplicación, los efectos como clorosis, marchitamiento y coloración marrón, se evidenciaron de manera más pronunciada con la segunda aplicación, el nivel de control en la última aplicación fue de 86,60%, el cual es muy similar al porcentaje de control del tratamiento T1 en la primera aplicación.

El nivel de control de arvenses para T3-100% no presentó un efecto representativo, puesto que durante las tres aplicaciones no se observó ninguna sintomatología, obteniendo un porcentaje final de control de 32 (Ninguno o pobre).

La dosificación de 50% resultó con un nivel de control excelente (93,30%) y muy bueno (82,60%) para los tratamientos T1 y T2 respectivamente, siendo más efectivo en la última aplicación, presentando una coloración oscura en las hojas y marchitamiento total de las arvenses. Con respecto al tratamiento T3 no se observó ningún daño para ninguna aplicación, con un porcentaje promedio total de nivel de control de 2,70% (Ninguno o pobre). González et al., (2010) afirma que en concentraciones de 50% de la solución de control (exudado de cacao) más 50% de agua desionizada tuvo el mayor promedio en la primera y segunda aplicación con valores de 2,33% y 3,00% según la escala de Alam, presentando quemaduras leves y retraso en el desarrollo, son valores muy similares obtenidos por el tratamiento T3 para la tercera aplicación en el cual se evidencio que no hubo ningún daño sobre las arvenses.

Tabla 8. Resultados del nivel de control de arvenses para el T1, T2 y T3

Nivel de control de arvenses				
Tratamientos	Dosificación	Aplicación 1	Aplicación 2	Aplicación 3
T1	100%	81%	93,30%	100%
	50%	44%	80%	93,30%
T2	100%	22,60%	84%	86,60%
	50%	17,30%	69,30%	82,60%
T3	100%	0%	10,60%	32%
	50%	0%	0%	8%

Con los valores obtenidos del nivel de control de arvenses, se evidencia que la concentración de ácido acético presente en los tratamientos, juega un papel importante en la inhibición del crecimiento de las arvenses, mostrando daños leves, severos hasta mortalidad total de las mismas. De esta manera, se logró determinar que la dosificación 100-50% de los tratamientos T1 y T2 son las más adecuadas para uso como herbicida natural. Posteriormente los tratamientos que tuvieron mejor resultados de fitotoxicidad fueron comparados con nuestro tratamiento testigo que fue el glifosato, de esta manera se observó que los efectos causados fueron muy similares frente a coloración de las hojas, siendo color marrón claro para el tratamiento T2 y el glifosato, pero no se observó marchitamiento ni arrugamiento con el glifosato como si se presentó en el tratamiento T1, solo se observó secamiento total de las arvenses afectadas.

Debido al debate mundial sobre toxicología sanitaria y ambiental, el glifosato fue reemplazado en formulaciones en algunos países, principalmente por ácido pelargónico y acético que fueron declarados en 2019. El ácido acético evitó el crecimiento posterior de las arvenses mejor que el ácido pelargónico. Se podría recomendar el uso de ácidos acético y pelargónico solos como herbicidas, lo que evitaría las fórmulas tóxicas (Seralini & Jungers, 2020).

La University of Maryland Extension reportaron que el ácido acético, afecta las membranas celulares de una planta, provocando una rápida descomposición / desecación del tejido del follaje al contacto, al igual (Radhakrishnan et al., 2003; Webbler & Shrefler, 2009). El vinagre como herbicida es más fuerte que el vinagre doméstico: la concentración de ácido acético para uso herbicida es más fuerte que el vinagre doméstico: la concentración de ácido acético para uso herbicida es del 10 al 20%, en comparación con el 5% de ácido acético de uso doméstico. Sin embargo, se debe considerar que la aplicación de altas dosis de vinagre, podría causar impacto al ambiente, principalmente al suelo, causando cambios en sus componentes químicos y biológicos. Evans et al. (2011) señalaron que altas dosis de vinagre pueden causar efectos pre-emergentes sobre las malezas.

Trabajos hechos con vinagre en diferentes concentraciones de acidez acética y en varios cultivos, entre ellos ajos y brocoli, reportaron efectos positivos en el control de las arvenses de hojas anchas y gramíneas (Honeyhill, 2007; Evans et al., 2011).

Figure 14. Resultados T1-100%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).

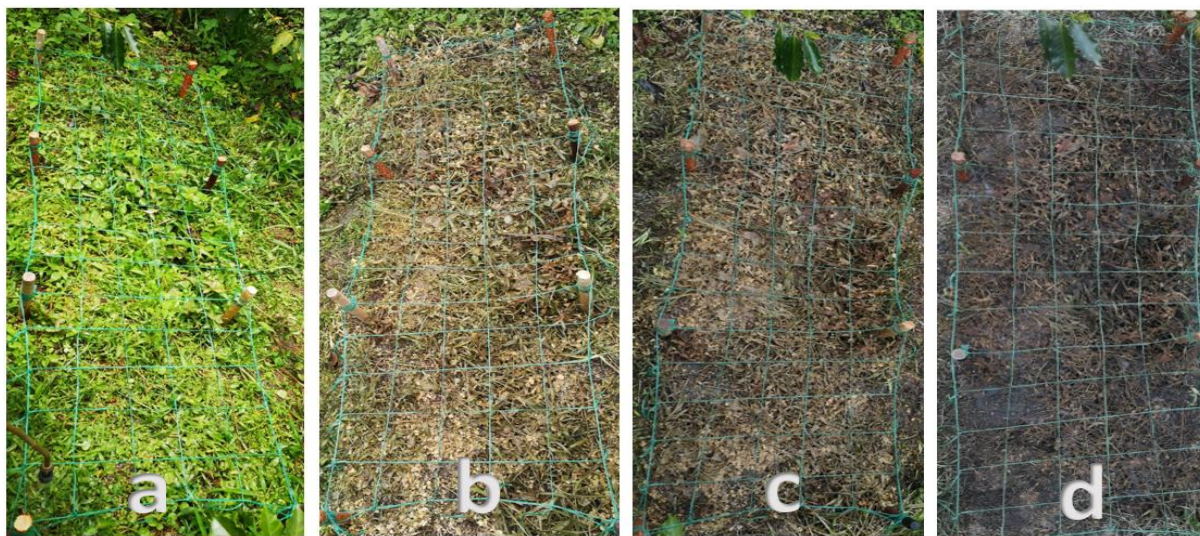


Figura 15. Resultados T1-50 Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).

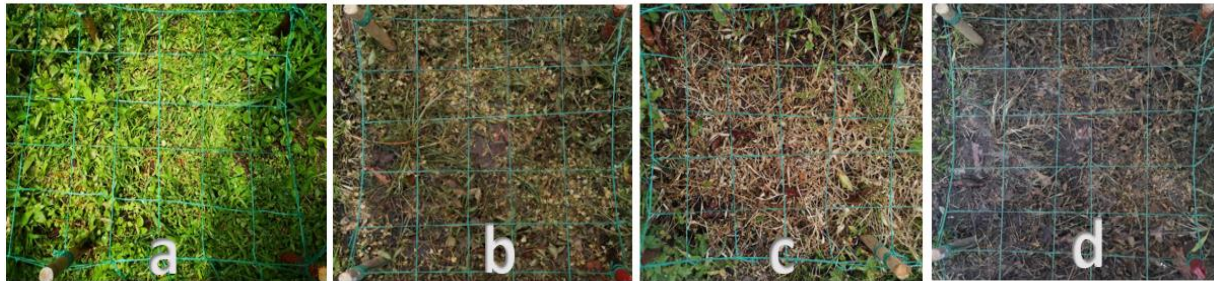


Figura 16. Resultados T2-100%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).

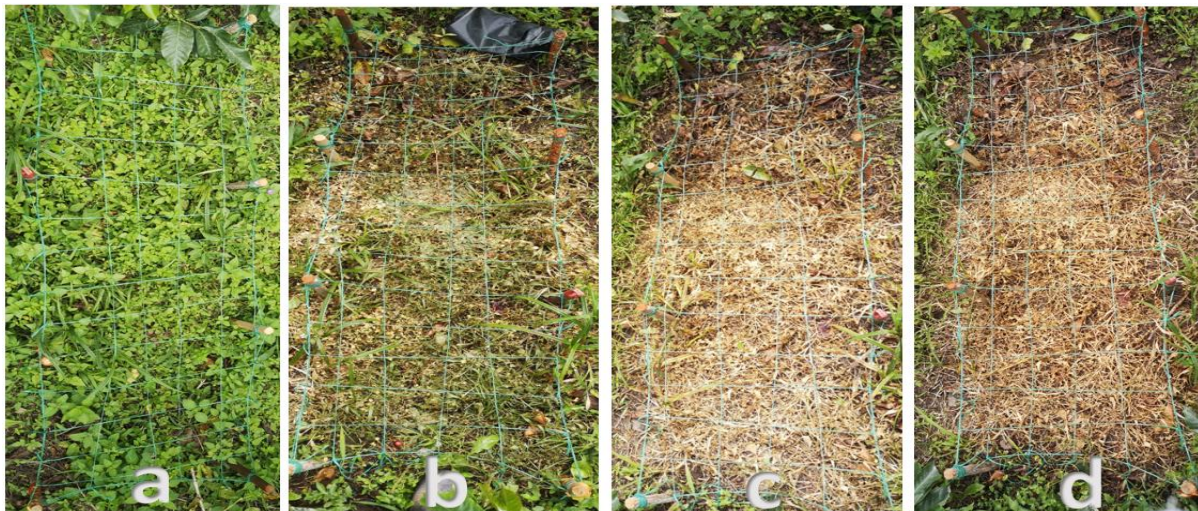


Figura 17. Resultados T2-50%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).

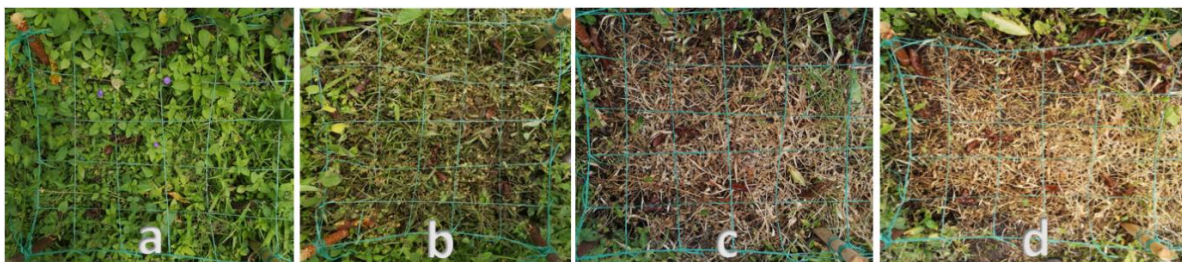


Figure 18.Resultados T3-100%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).

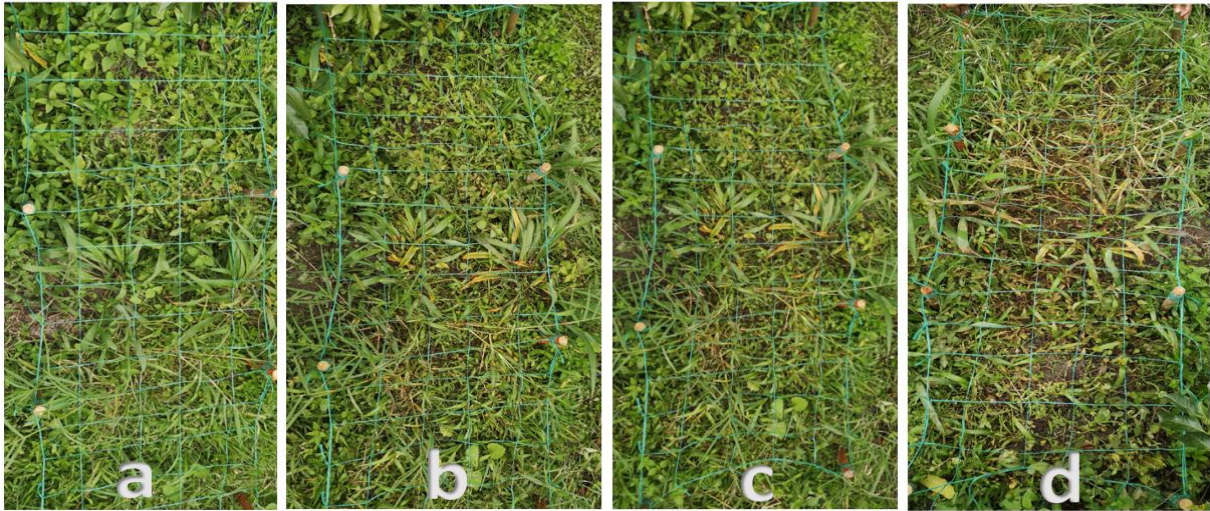


Figure 19.Resultados T3-50%. Parcela sin aplicar(a), aplicación 1(b), aplicación 2(c), aplicación 3(c).

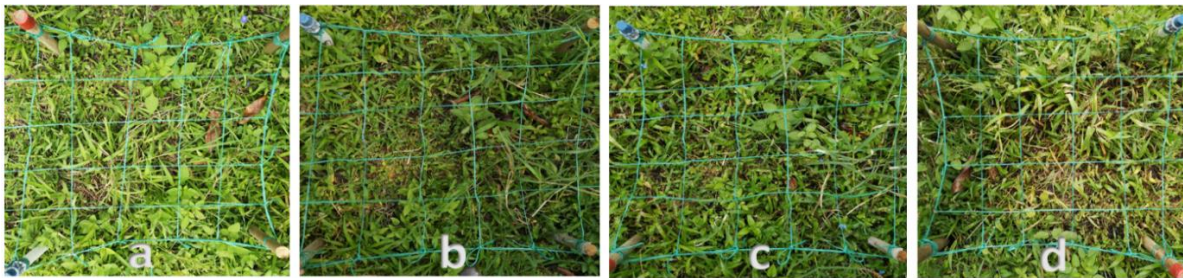


Figura 20.Resultado de testigo(glifosato),única aplicación.



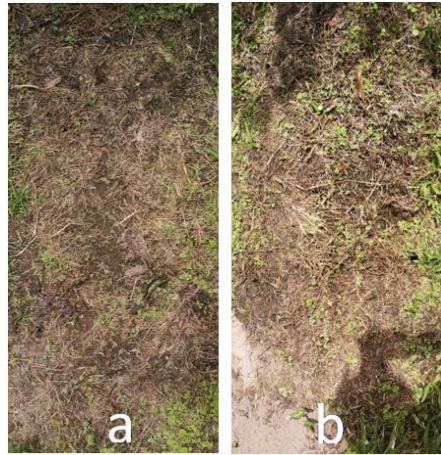
7.4.2. Rebrote de arvenses

Éste dato se determinó cuando se observó una nueva germinación de arvenses. El rebrote se estableció periódicamente, es decir a los 6, 12, 18 y 24 días después de la última aplicación.

Durante las visitas que se realizaron se observó que el tratamiento T1 (100-50%) presentó una muy leve germinación de arvenses a los 24 días a partir de la última aplicación como se observa en la figura 21. La germinación del tratamiento T2 (100-50%) se evidencio a los 18 días, con un rebrote muy leve en los laterales de las parcelas. El tratamiento T3 (100-50%) no presento un nivel de control de arvenses representativo (Ninguno o Pobre) por lo cual el crecimiento de las arvenses continúo de manera normal.

El ácido acético mata las partes aéreas de las plantas, pero no controla las partes subterráneas, y las plantas resurgen típicamente del sistema de raíces después de unos días o semanas. La concentración típica de ácido acético en la mayoría de los vinagres disponibles comercialmente es del 5%, y se informa que esta concentración solo proporciona un control variable de las malas hierbas pequeñas (Dayan et al., 2009). Aunque el ácido acético se aplica en concentraciones relativamente altas, no tiene una influencia negativa a largo plazo sobre los microorganismos del suelo (Malkomes, 2005). De igual manera Honeyhill, (2007) también habla sobre el pH del suelo, ya que la aplicación de vinagre no alteró el valor de acidez o alcalinidad de este.

Figura 21. Rebrote T1-100% (a), T1-50% (b) a los 22 días después de la última aplicación



8. Conclusiones

- Es posible obtener efectos positivos para el control de arvenses a partir de la aplicación mucilago de café fermentado a partir ácido acético.
- Los efectos de fitotoxicidad que presentaron los tratamientos T1 y T2 en las arvenses fueron clorosis tanto leve como crónica, marchitamiento, cloración marrón claro, marrón oscuro y gris, como también la muerte total.
- La dosis adecuada con mayor efecto fitotóxico fue el T1-100% (3,86-ac) obteniendo un control del 100% a la 3 aplicación (9 días después de la primera).
- El tratamiento T3 presentó un comportamiento completamente diferente respecto a los demás, debido a que no se hizo la corrección de los sólidos solubles (°Brix) y adición de levadura.
- Los mejores rendimientos presentados en las etapas de fermentación (alcohólica y acética), fueron T1 correspondiente al mucilago separado mediante el método mecánico (desmucilagador), debido a que el sustrato tiene menos contenido de agua y los componentes del mucilago se encuentran en mayor concentración.

9. Recomendaciones

- Es importante el contenido de los sólidos solubles iniciales del sustrato y es necesario hacer la respectiva corrección, con la adición de sacarosa de igual manera hacer inoculación de levadura *saccharomyces cerevisiae*, de esta manera se busca establecer las condiciones óptimas para el buen desarrollo de los microorganismos.
- Es importante tener en cuenta el estado de madurez del café ya que a partir de esto podemos obtener la mayor concentración de sólidos solubles utilizando el desmucilagador como método de separación.
- Al estar la fermentación acética influenciada por variables como; temperatura de fermentación, disolución de partículas y volumen de oxígeno en el medio y velocidad de agitación, se debe automatizar el control de los mismos para una posterior investigación, para un adecuado control y obtener un mejor rendimiento en el mismo
- El mucílago de café fermentado debe ser aplicado en días soleados y sin viento para evitar efectos de deriva que puedan causar daños a otras plantas.
- Otro aspecto a considerar es el efecto sobre el hombre. Rizzon et al. (2006) indican que el ácido acético en concentraciones superiores al 11 % puede causar quemaduras en la piel y daños severos en los ojos. La utilización de productos orgánicos no libera a los aplicadores del uso obligatorio de equipos de protección.

10. Bibliografía

- Akin, H., Brandam, C., Meyer, X. M., & Strehaiano, P. (2008). A model for pH determination during alcoholic fermentation of a grape must by *Saccharomyces cerevisiae*. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(11), 1986–1993.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.11.014>
- Akin, H., Brandam, C., Meyer, X. M., & Strehaiano, P. (2008). A model for pH determination during alcoholic fermentation of a grape must by *Saccharomyces cerevisiae*. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(11), 1986–1993.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2007.11.014>
- ALAM (Asociación Latinoamericana de Malezas). 1974. Resumen del panel de métodos de evaluación de control de malezas en Latinoamérica. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Malezas*. pp.6-38.
- Aranda, A., Matallana, E., & Olmo, M. del. (2011). *Saccharomyces* Yeasts I: Primary Fermentation. In *Molecular Wine Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375021-1.10001-3>
- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., & Wicke, H. (2001). Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea*. *Cenicafé*, 23, 31.
- Arcilla, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. *Sistemas de Producción de Café En Colombia*, 22–60.
<http://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>
- Arguedas, P. (2014). Definición del proceso de elaboración de una bebida fermentada a partir de pulpa del café (broza). *Revista Tecnología En Marcha*, 38.
<https://doi.org/10.18845/tm.v0i0.1654>
- Avallone, S., Brillouet, J. M., Guyot, B., Olguin, E., & Guiraud, J. P. (2002). Involvement of pectolytic micro-organisms in coffee fermentation. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(2), 191–198. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00556.x>
- Babova, O., Occhipinti, A., & Maffei, M. E. (2016). Chemical partitioning and antioxidant capacity of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of different geographical origin. *Phytochemistry*, 123, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.016>
- Bazirake, G., Byarugaba, W., Tumusiime, M., & Kimono, D. . (2014). The technology of Producing Wine Vinegar from starch of Banana Peelings. 4–6.
- Bernal, K. (2018). Fumigación con glifosato en Colombia: Política antidrogas Vs. Derecho a la salud y al medio ambiente. 21.
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22932/1/Fumigación con glifosato en Colombia Política antidrogas Vs Derecho a la salud y al medio ambient.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22932/1/Fumigación%20con%20glifosato%20en%20Colombia%20Política%20antidrogas%20Vs%20Derecho%20a%20la%20salud%20y%20al%20medio%20ambient.pdf)

- Black, J.G. (1996). *Microbiology. Principles and Applications*. Third Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.
- Blandón, S. L., Castillo, B., & López, A. L. (2013). Validación del mucílago de café para la producción de etanol y abono orgánico. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 3(1), 10–13. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v3i1.8637>
- Braham, J., & Bressani, R. (1978). PULPA DE CAFE Composición, tecnología y utilización.
- Brändlin, A. (2018). Glifosato: no solo mata la maleza, también a las abejas. *Made for Minds*. <https://p.dw.com/p/35UMA>
- Bustos, M. (2012). Destino ambiental del glifosato en una zona arroceras del Tolima , Colombia. Facultad de Agronomía, February.
- Caiza, M. (2016). DISEÑO DE UNA PLANTA PARA BENEFICIO POR VÍA HUMEDA PARA CAFÉ ARÁBIGO (*Coffea arabica* L.) DE ALTURA, EN LA PARROQUIA DE PACTO.
- Campos, R. C., Pinto, V. R. A., Melo, L. F., Rocha, S. J. S. S. da, & Coimbra, J. S. (2021). New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review. *Future Foods*, 4(June), 100058. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>
- Castro, E. C. (2019). Ciencia Unisalle Evaluación del mucílago del café (*Coffea arabica* L . Caturra) como potencial prebiótico en una bebida de arroz.
- Chamarro, M. R., & Herrera, M. E. (2012). OBTENCIÓN DE VINAGRE A PARTIR DEL FRUTO DE OVO (*Spondias purpurea* L), PRODUCIDO EN AMBUQUÍ, PROVINCIA DE IMBABURA.
- Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E., & Henry, R. J. (2016). Influence of genotype and environment on coffee quality. *Trends in Food Science and Technology*, 57, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
- Coote, N., & Kirsop, B. H. (1976). FACTORS RESPONSIBLE FOR THE DECREASE IN pH DURING BEER FERMENTATIONS. *Journal of the Institute of Brewing*, 82(3), 149–153. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1976.tb03739.x>
- Córdoba Castro, N. M., & Guerrero Fajardo, J. esteban. (2016). Caracterización De Los Procesos Tradicionales De Fermentación De Café En El Departamento De Nariño. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 75. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)75-83](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)75-83)
- Dayan, F. E., Cantrell, C. L., & Duke, S. O. (2009). Natural products in crop protection. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 17(12), 4022–4034. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046>
- De Vero, L., Gullo, M., Gala, E., & Giudici, P. (2006). Aspetti microbiologici nella gestione di una batteria di Aceto Balsamico Tradizionale. *Industria Delle Bevande*, XXXV(January), 443–448.

- Deborah, F., & Stanton, G. (2021). Vinegar: An Alternative to Glyphosate? University of Maryland Extension. <https://extension.umd.edu/resource/vinegar-alternative-glyphosate>
- Díaz, A. (2015). Potencial de Manejo Post-emergente de Malezas con Alternativas de Extractos Vegetales. 60. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7671/63734> DIAZ RAMIREZ, ABRAHAM IGNACIO TESIS.pdf?sequence=1
- Du Toit, W. J., & Pretorius, I. S. (2002). The occurrence, control and esoteric effect of acetic acid bacteria in winemaking. *Annals of Microbiology*, 52(2), 155–179.
- Dupuy and Maugenet, 1963P. Dupuy, Maugenet J. Métabolisme de l'acid lactique par *Acetobacter rancens* *Annales Technologie Agricole*, 12 (1963), pp. 5-14
- Duque, G., & Oña, L. (2007). “Respuesta del cultivo de pimiento (*Capsicum annum*), a dos biofertilizantes de preparación artesanal aplicados al suelo con cuatro dosis, en la Granja Experimental E.C.A.A.” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 111.
- Ebner, H., & Enenkel, A. (1978). Two stage process for the production of vinegar with high acetic acid concentration. *Biotechnology Advances*, 1(1), 152–153. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(83\)90516-5](https://doi.org/10.1016/0734-9750(83)90516-5)
- Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2020). The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *International Journal of Food Microbiology*, 333(May), 108796. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>
- Evangelista, S. R., da Cruz Pedrozo Miguel, M. G., de Souza Cordeiro, C., Silva, C. F., Marques Pinheiro, A. C., & Schwan, R. F. (2014). Inoculation of starter cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process. *Food Microbiology*, 44, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.05.013>
- Evans, G. J., Bellinder, R. R., & Hahn, R. R. (2011). Integration of Vinegar for In-Row Weed Control in Transplanted Bell Pepper and Broccoli. *Weed Technology*, 25(3), 459–465. <https://doi.org/10.1614/wt-d-10-00167.1>
- Eyamo Evina, V. J., De Taeye, C., Niemenak, N., Youmbi, E., & Collin, S. (2016). Influence of acetic and lactic acids on cocoa flavan-3-ol degradation through fermentation-like incubations. *LWT - Food Science and Technology*, 68, 514–522. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.047>
- Farah, A., & Donangelo, C. M. (2006). Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 23–36. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100003>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2018). Informe de Gestión 2018. Rentabilidad - Legitimidad - Resiliencia. 75.

https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2019/10/Informe_Gestion_2018_compressed-1.pdf

- FOEI. (2013). Friends of the Earth Europe. The environmental impacts. www.foeeurope.org. Retrieved from https://www.foeeurope.org/sites/default/files/press_releases/foee_5_environmental_impacts_glyphosate.pdf.
- Funes, M. R., Banegas, C. L., Maradiaga Gonzales, H., Osorio Rivera, M. E., Henríquez Flores, N. D., & Mejía, N. (2012). Producción de bioetanol a partir del mucilago de café (Coffea). *Revista Ciencia y Tecnología*, 10, 150–164. <https://doi.org/10.5377/RCT.V0I10.1068>
- Gallego, C. M. (2007). Influencia de la acidez volátil en el proceso de fermentación de la planta de alcohol del Ingenio Risaralda S.A. Tesis. Escuela de Tecnología Química. Programa de Química Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira, 90.
- García-García, I., Santos-Dueñas, I. M., Jiménez-Ot, C., Jiménez-Hornero, J. E., & Bonilla-Venceslada, J. L. (2009). Vinegar engineering. *Vinegars of the World*, 97–120. https://doi.org/10.1007/978-88-470-0866-3_6
- Garzón, R. C. C., & Prieto, J. E. O. (2014). Manejo integrado del recurso agua, en el proceso de beneficio húmedo del café, para la asociación de productores de café especial. Universidad De Manizales, 164.
- Gil, A. I., Celis, Á., Cuevas, J. C., & Fischer, F. G. (2010). Efecto inhibitorio de extractos de *Swinglea glutinosa* (Blanco) Merr. y *Lantana camara* L. en preemergencia y posemurgencia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(2), 223–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i2.1242>
- Gill, R. J., Ramos-Rodriguez, O., & Raine, N. E. (2012). Combined pesticide exposure severely affects individual and colony-level traits in bees. *Nature*, 491(7422), 105–108. <https://doi.org/10.1038/nature11585>
- González Manjarrez, G., Painii Montero, V., Morán Santana, L., Prías Mogro, L., & Sarmiento Tomalá, GPesántez Domínguez, O. (2010). The exudate of cocoa bean (*Theobroma cacao* L) as a herbicide for weed management. *Investigación, Tecnología E Innovación*, 2(2), 93–106., 2. <https://doi.org/https://doi.org/10.53591/iti.v2i2.127>
- González, C., Oliveros, C., Sanz, J., Moreno, E., & Rodríguez, L. (2007). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉCNICO Y AMBIENTAL DE UN DESMUCILAGINADOR DE CAFÉ CON ROTOR DE VARILLAS. *Cenicafe*, 58(2), 122–133
- Hernández, M. A., Rodríguez Susa, M., & Andres, Y. (2014). Use of coffee mucilage as a new substrate for hydrogen production in anaerobic co-digestion with swine manure. *Bioresource Technology*, 168, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.101>

- Hidalgo, C., Torija, M. J., Mas, A., & Mateo, E. (2013). Effect of inoculation on strawberry fermentation and acetification processes using native strains of yeast and acetic acid bacteria. *Food Microbiology*, 34(1), 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.11.019>
- Hidalgo, C., Vegas, C., Mateo, E., Tesfaye, W., Cerezo, A. B., Callejón, R. M., Poblet, M., Guillamón, J. M., Mas, A., & Torija, M. J. (2010). Effect of barrel design and the inoculation of *Acetobacter pasteurianus* in wine vinegar production. *International Journal of Food Microbiology*, 141(1–2), 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.04.018>
- Hincapié, E., & Salazar, L. F. (2007). Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 359, 12. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0359.pdf>
- Hipo, M. R. (2017). APLICACIÓN DE MUCILAGO DE SEMILLAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL CONTROL DE MALEZAS. *Repo.Uta.Edu.Ec*, 1, 19–67. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- Honeyhill, F. (2007). VINEGAR AS AN HERBICIDE IN ORGANIC GARLIC PRODUCTION.
- IARC. (2015). IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. The International Agency for Research on Cancer (IARC), 112. <https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-volume-112-evaluation-of-five-organophosphate-insecticides-and-herbicides/>
- IGAC. (2012). igac.gov.co. Obtenido de Colombia, un país con una diversidad de suelos ignorada y desperdiciada: <https://igac.gov.co/es/noticias/colombia-un-pais-con-una-diversidad-de-suelos-ignorada-y-desperdiciada>.
- Johnson, R. M., Ellis, M. D., Mullin, C. A., & Frazier, M. (2010). Pesticides and honey bee toxicity - USA. *Apidologie*, 41(3), 312–331. <https://doi.org/10.1051/apido/2010018>
- Joyeux, A., Lafon-Lafourcade, S., & Tibereau-Gayon, P. (1984). Evolution of acetic acid bacteria during fermentation and storage of wine. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(1), 153–156. <https://doi.org/10.1128/aem.48.1.153-156.1984>
- Kang, B.-H., Shin, E.-J., Lee, S.-H., Lee, D.-S., Hur, S.-S., Shin, K.-S., Kim, S.-H., Son, S.-M., & Lee, J.-M. (2011). Optimization of the Acetic Acid Fermentation Condition of Apple Juice. *Korean Journal of Food Preservation*, 18(6), 980–985. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2011.18.6.980>
- Kittelmann, M., Stamm, W. W., Follmann, H., & Trüper, H. G. (1989). Isolation and classification of acetic acid bacteria from high percentage vinegar fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 30(1), 47–52. <https://doi.org/10.1007/BF00255995>

- Kösebalaban, F., & Özilgen, M. (1992). Kinetics of wine spoilage by acetic acid bacteria. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 55(1), 59–63. <https://doi.org/10.1002/jctb.280550110>
- Lalou, S., Mantzouridou, F. T., & Tsimidou, M. Z. (2019). Challenges in the production line of new-generation balsamic vinegars. In *Biotechnological Progress and Beverage Consumption: Volume 19: The Science of Beverages (Issue 583)*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816678-9.00010-2>
- Li, T., Lo, Y. M., & Moon, B. K. (2014). Feasibility of using *Hericium erinaceus* as the substrate for vinegar fermentation. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 323–328. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.07.018>
- Malkomes, H.-P. (2005). Influence of higher dosages of an acetic acid-based herbicide, which are necessary for weed control, on soil microorganisms and the microbial activity in soil. *Zeitschrift Fur Pflanzenkrankheiten Und Pflanzenschutz*, 112(5), 457–471. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-28444460750&origin=inward&txGid=a201d71c79e311fa8b71047a61a2315f>
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2003). Cambios Físicos Y Químicos Durante La Maduración del Fruto de Café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenifcafé*, 54(3), 208–225.
- Martinez, S., Carrero, T., & Martinez, H. (2015). Efecto de ácido acético como herbicida en el manejo de seis especies de arvenses, CNRA- Campus Agropecuario, UNAN-León, septiembre 2014–marzo del 2015. 68.
- Martins, P. M. M., Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., & Schwan, R. F. (2019). Production of coffee (*Coffea arabica*) inoculated with yeasts: impact on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(13), 5638–5645. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9820>
- Mateo, E., Torija, M. J., Mas, A., & Bartowsky, E. J. (2014). Acetic acid bacteria isolated from grapes of South Australian vineyards. *International Journal of Food Microbiology*, 178, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.03.010>
- Merli, G., Becci, A., Amato, A., & Beolchini, F. (2021). Acetic acid bioproduction: The technological innovation change. *Science of The Total Environment*, 798, 149292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149292>
- Murthy, P. S., & Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Nair, R. B., Lennartsson, P. R., & Taherzadeh, M. J. (2017). Bioethanol Production From Agricultural and Municipal Wastes. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Solid Waste Management*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63664-5.00008-3>

- Neu, A. K., Pleissner, D., Mehlmann, K., Schneider, R., Puerta-Quintero, G. I., & Venus, J. (2016). Fermentative utilization of coffee mucilage using *Bacillus coagulans* and investigation of down-stream processing of fermentation broth for optically pure l(+)-lactic acid production. *Bioresource Technology*, 211, 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.122>
- Peñuela-Martínez, A. E., Oliveros-Tascón, C. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2010). Remoción del mucílago de café a través de fermentación natural. *Cenicafé*, 61(2), 159–173.
- Pereira, G. V., Neto, E., Soccol, V. T., Medeiros, A. B. P., Woiciechowski, A. L., & Soccol, C. R. (2015). Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. *Food Research International*, 75, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.027>
- Pérez-Sariñana, B. Y., De León-Rodríguez, A., Saldaña-Trinidad, S., & Joseph, S. P. (2015). Optimization of bioethanol production from coffee mucilage. *BioResources*, 10(3), 4326–4338. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.4326-4338>
- Perfetti, J. J., Balcazar, Á., Hernández, A., & Leibovich, J. (2013). Vinculación de los pequeños productores al desarrollo de la agricultura. In *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/61>
- Por, S., Urbanas, A., & Montilla, L. (1998). Conferencia N . 2 . 2 . : La Contaminación De Las Aguas La Visión De Los Usuarios. 211–222.
- Puerta Quintero, G. I. (2012). Factores, Procesos Y Controles En La Fermentación Del Café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1(422), 1–12. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0461.pdf>
- Puerta Quintero, G. I. (2013). Cinética Química De La Fermentación Del Mucílago De Café a Temperatura Ambiente. *Cenicafé*, 64(1), 42–59. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/525/1/arc064%2801%2942-59.pdf>
- Puerta, G. (1999). Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. *Cenicafe*, 50(1), 78–88.
- Puerta, G. I. (2010). FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN EL BENEFICIO DEL CAFÉ. 1.
- Puerta, G., & Echeverry, J. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. *Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica Fondo Nacional Del Café*, 12. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0454.pdf>
- Radhakrishnan, J., Teasdale, J. R., & Coffman, C. B. (2003, January). Agricultural applications of vinegar. In *Proceedings of northeastern weed science society* (Vol. 57, pp. 63-64).
- Ramírez G., C.A. (2011). Disminución del impacto ambiental en la tecnología BECOL-SUB, mediante la evaporación de lixiviados”. Universidad de Manizales.Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Tesis de Maestría. Manizales. Colombia. 105p

- Raspor, P., & Goranovič, D. (2008). Biotechnological applications of acetic acid bacteria. *Critical Reviews in Biotechnology*, 28(2), 101–124. <https://doi.org/10.1080/07388550802046749>
- Regidor, E., Ronda, E., García, A. M., & Domínguez, V. (2004). Paternal exposure to agricultural pesticides and cause specific fetal death. *Occupational and Environmental Medicine*, 61(4), 334–339. <https://doi.org/10.1136/oem.2003.009043>
- Ribeiro, L. S., Ribeiro, D. E., Evangelista, S. R., Miguel, M. G. da C. P., Pinheiro, A. C. M., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2017). Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.008>
- Ríos, S., & Puerta, G. I. (2011). Composición Química Del Mucílago De Café, Según El Tiempo De Fermentación Y Refrigeración. *Cenicafé*, 2(62), 23–40. <http://www.cenicafe.org/es/documents/2.pdf>
- Rizzon, L. A., Meneguzzo, J., & Manfroi, L. (2006) Sistema de Produção de Vinagre. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Roa, G., Oliveros T., C. E., Álvarez G., J., Ramírez G., C. A., Sanz U., J. R., Dávila A., M. T., Álvarez H., J. R., Zambrano F., D. A., Puerta Q., G. I., & Rodríguez V., N. (2004). Beneficio ecológico del café. In *Cenicafé* (p. 32). [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/838/1/Beneficio ecológico.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/838/1/Beneficio%20ecol%C3%B3gico.pdf)
- Roda, A., Lucini, L., Torchio, F., Dordoni, R., De Faveri, D. M., & Lambri, M. (2017). Metabolite profiling and volatiles of pineapple wine and vinegar obtained from pineapple waste. *Food Chemistry*, 229, 734–742. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.111>
- Rodríguez, N., & Zambrano, D. (2015). Producción de alcohol a partir del mucílago del café. *Revista Cenicafé*, 62(1), 78–93. [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/541/1/arc064\(02\)78-93.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/541/1/arc064(02)78-93.pdf)
- Rodríguez Valencia Nelson. (2015). Producción de alcohol a partir del mucílago del café. *Revista Cenicafé*, 62(1), 78–93. [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/541/1/arc064\(02\)78-93.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/541/1/arc064(02)78-93.pdf)
- Rodríguez Valencia, N., Sanz Uribe, J., Oliveros Tascón, C., & Ramírez Gómez, C. (2015). Beneficio de Café en Colombia. In *Avances Técnicos Cenicafé*. https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf
- Rodríguez, C., & Sarabia, C. (2012). Efecto del método de fermentación acética en las características físico-químicas y sensoriales en vinagre de naranja agria. Editorial Reverté, 915–920. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1252/1/AGI-2012-T040.pdf>
- Rodriguez, N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. [Tesis Doctoral No Publicada].

Universitat Politècnica de València.

<https://doi.org/https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/4342>

- Romero, C. A. (2012). Evaluación de la Fermentación Alcohólica para la Producción de Hidromiel. Universidad Nacional de Colombia, 1–144.
- Rosales, E., & Esqueda, V. (2006). Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. 17.
- Salazar, C., Gonzales, G., & Arcilla, O. (1999). Guaviare. Población y territorio. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI, Ministerio Del Medio Ambiente. Bogotá D.C.: TM Editores, 1–193.
- Salazar, F. (2010). las arvenses y su manejo en los cafetales L Capítulo 5. 127.
- Samayoa, A., Borrayo, B., Pérez, A., María, M., & Montenegro, L. (2014). Extracción de mucilago, azúcares, y taninos de la pulpa del café y producción de ácido acético comercial a partir de las mieles del café. 78. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3706.pdf
- Seralini, G. E., & Jungers, G. (2020). Toxic compounds in herbicides without glyphosate. *Food and Chemical Toxicology*, 146, 111770. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111770>
- Schlegel, H. (1976). MICROBIOLOGÍA GENERAL. In Geophysical Research Letters (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.1029/GL003i001p00037>
- Siridevi, G. B., Havare, D., Basavaraj, K., & Murthy, P. S. (2019). Coffee starter microbiome and in-silico approach to improve Arabica coffee. 114(March). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108382>
- Sossou, S. K., Ameyapoh, Y., Karou, S. D., & De Souza, C. (2009). Study of pineapple peelings processing into vinegar by biotechnology. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12(11), 859–865. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2009.859.865>
- Sterren, M. A., Urich, W., & Benintende, S. (2016). Residualidad de glifosato en suelos de Entre Ríos y su efecto sobre los microorganismos del suelo. *Ecología Austral*, 26(3), 246–255. <https://doi.org/10.25260/ea.16.26.3.0.95>
- Talavera, S. M., Rojas, T. B. C., & Rocha, H. M. M. (2015). Efecto de ácido acético como herbicida en el manejo de seis especies de arvenses, CNRA- Campus Agropecuario, UNAN-León, septiembre 2014–marzo del 2015. 68.
- Torres, R; Rodriguez, A. (1991). Ensayo sobre depuración biológica de aguas residuales del lavado del café. Santa fe de Bogotá (Colombia) 137p
- Triviño, J., & Contreras, J. (2017). APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE BIORREFINERÍA A LOS RESIDUOS GENERADOS EN EL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ.
- Trujillo, E. Y. U. (2016). Identificación de impactos ambientales relacionados con el proceso de beneficio húmedo del café en la vereda de tres esquinas-Huila-Colombia estudiante. La

- Nacion, «Noticia Regional,» Huila El Primer Productor de Cafe a Nivel Nacional, p. 5, 17 Enero 2015., 2–7. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15205>
- Usaquen, J., Saen, J., & Oliveros, C. (2008). Efecto de dos practicas empleadas con café desmucilaginado mecanicamente en la calidad y el impacto ambiental. *Cenicafé*, 59(3), 214–226.
- Vásquez Gonzales, G. E. (2016). Efecto del proceso beneficio húmedo de café sobre la sostenibilidad hídrica de la microcuenca la Suiza, Chiapas. 1–135. <https://docplayer.es/73421483-Efectos-del-proceso-beneficio-humedo-de-cafe-sobre-la-sostenibilidad-hidrica-de-la-microcuenca-la-suiza-chiapas.html>
- Vaughn, B. Y. R. H. (1955). Bacterial Spoilage of Wines with Special Reference to California Conditions. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60121-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60121-4)
- Villagómez, S. (2013). OPTIMIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO (EXUDADO DEL MUCÍLAGO) DE LA ALMENDRA FRESCA DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) CCN51 EN LA ELABORACIÓN DE.
- Webber III, C.L., & Shrefler, J.W. (2009). Vinegar (20% acetic acid) broadcast application for broadleaf weed control in springtransplanted onions. In: Brandenberger, L., Wells, L., editors. (2008). Vegetable Trials Report, Oklahoma State University, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Horticulture and Landscape Architecture. Stillwater, OK. MP164, 62-64.
- Zambrano, D. (1993). Fermente y lave su café en el tanque tina. *Cenicafé*, 197, 8.