



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Comparación de dos métodos de coagulación del látex (*Hevea brasiliensis*) en el Magdalena Medio Colombiano

Armando Sarabia Ortiz

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Posgrados
Especialización en Cultivos Perennes Industriales
2014**

Comparación de dos métodos de coagulación del látex (*Hevea brasiliensis*) en el Magdalena Medio Colombiano

Armando Sarabia Ortiz
Código: 07790907

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en Cultivos Perennes Industriales**

Director:
I.A. PhD Luis Felipe Rodríguez C.

Codirector:
I.A.M.S Daniel Gerardo Cayón Salinas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Escuela de Posgrados
Especialización en Cultivos Perennes Industriales
2014

A Dios, por permitirme culminar esta etapa importante de mi vida, iluminando el camino para vencer cada uno de esos obstáculos que se me presentaron durante este proceso.

A mi esposa, Irma Acevedo Angarita, por compartir su vida conmigo y haberme apoyado en todo este proceso, por sus consejos, por la motivación constante para la culminación de esta etapa que me permite ser un mejor profesional y mejor docente, además por su amor incondicional haciendo de mi un ser cada día mejor.

A mi hijo, Manuel Armando Sarabia Acevedo, por ser luz en mi camino, apoyo incondicional para el alcance de mis metas y el amigo que siempre está en los momentos de debilidad. Dios lo bendiga.

A mis padres, Néstor Julio Saravia Quintero e Isabel Ortiz de Saravia, porque gracias a ellos pude llegar a ser un gran profesional, docente, padre, hijo y esposo. Dios los bendiga abundantemente.

Gracias

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a:

Luis Felipe Rodríguez, PhD, por su dedicación y apoyo para realizar este trabajo y llevarlo a buen término.

Rafael Arrieta Vergara, ingeniero agrónomo, por su asesoría en esta investigación, por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales.

A la docente de Unipaz **Marinela Pedraza** por sus grandes aportes al presente trabajo.

Al ingeniero agrónomo **Darío Garavito** por el apoyo ofrecido en esta especialización.

A la Universidad de la Paz, por el espacio de formación brindado en el transcurso de la carrera.

A mis compañeros por su apoyo en esta etapa de estudio, **Benilda Orozco, Henry Uribe, Leonel Eljure y Alirio Rey**.

A todas las personas que de alguna manera estuvieron presentes y contribuyeron en la realización de la presente investigación.

Resumen

El caucho (*Hevea Brasiliensis*) es un cultivo ampliamente producido en la zona del Magdalena Medio colombiano. Para obtener, a partir del látex, caucho natural, se utilizan coagulantes que permitan su solidificación, siendo el ácido fórmico del uso más extendido. Sin embargo, sustancias como estas tienen consecuencias en quienes las manipulan y en el medio ambiente.

En el presente trabajo se compararon métodos convencionales y no convencionales (ácido cítrico natural) para determinar características, propiedades, ventajas y desventajas del caucho coagulado usando diferentes sustancias.

Inicialmente se presentan los sistemas de producción de caucho en Colombia y el beneficio de esta planta, así como un marco geográfico sobre el Magdalena Medio (región analizada). Posteriormente, se describe el diseño experimental usado utilizado para la comparación y los resultados de las pruebas realizadas. El ácido fórmico se destaca por su rapidez, aunque resulta más caro que el ácido cítrico. Al final de proceso, ambos tratamientos generan láminas de excelente calidad. El ácido cítrico, por su parte, produce mejores resultados en elasticidad e impacto ambiental.

Abstract

Rubber (*Hevea Brasiliensis*) is a widely used crop in *Colombian Magdalena Medio* zone. In order to obtain natural rubber from latex, coagulants are used for solidification, and formic acid is the most used for these purposes. However, these substances have consequences on the people who handle them and the environment.

In this research, conventional and non-conventional solidification methods (natural citric acid) are compared for determining differences, similarities, properties, advantages and disadvantages between both ways of coagulating rubber.

In the first part of this paper, particular topics of Colombian rubber production systems, the way to get latex from the plant and *Magdalena Medio* zone are analyzed. Then, experimental design used for comparing the two methods is explained. In the last part, results of the experiments are discussed. Formic acid is faster for coagulation, but it is more expensive than citric acid and, at the end of the process, both treatments produce excellent quality rubber sheets. Citric acid, on its behalf, gives better results in elasticity and environmental impact.

Contenido

	Pág.
Resumen y Abstract	IX
Lista de figuras	XII
Lista de cuadros	XIII
Introducción	1
1. Marco teórico	5
1.1 El sistema de producción de caucho en Colombia	5
1.2 Proceso de beneficio del caucho	9
1.2.1 Proceso de coagulación del látex del caucho por el método convencional.....	15
1.2.2 Producción de Látex líquido.....	16
1.2.3. Proceso de coagulación del látex del caucho por el método no convencional	18
2. Metodología y procedimientos de investigación	21
2.1. Marco geográfico (Localización).....	21
2.2. Fuentes de Información	24
2.3 Diseño metodológico experimental.....	24
2.4 Métodos de campo y de laboratorio.....	31
2.5 Métodos de recolección de información	
2.6 Métodos de organización, sistematización y análisis de la información	
3. Análisis y Discusión de Resultados	
3.1. Características de los métodos en estudio	33
3.1.1 Características del método convencional	33
3.1.2 Características del método no convencional (Propuesto).....	34
3.2 Determinación del porcentaje de coagulación de los métodos en comparación	34
3.3. Análisis de la Calidad de las láminas de caucho	44
3.3.1Elasticidad.....	44
3.4. Análisis económico de los dos métodos de coagulación estudiados con el propósito de precisar cuál de los tratamientos (coagulante y nivel), ofrece las mejores ventajas desde el punto de vista económico.....	49
3.5. Estrategia para la difusión e implementación del mejor método	50
4. Conclusiones y recomendaciones	53
4.1. Conclusiones.....	53
4.2. Recomendaciones	53
Anexos	57
Bibliografía	65

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Extracción del látex del Hevea Brasiliensis	9
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de beneficio del caucho	14
Figura 3. Empleo de canoas en el proceso de coagulación del látex	15
Figura 4. Situación geográfica del Magdalena Medio en Colombia	22
Figura 5. Localización del Magdalena Medio Santandereano	23
Figura 6. Lima en rama y su azahar	27
Figura 7. Lima persa o limón Tahití	28
Figura 8. Lámina de caucho seco obtenida con ácido fórmico	28
Figura 9. Beneficiadero (laboratorio)	29
Figura 10. Látex líquido en proceso de coagulación	29
Figura 11. Bandeja de poliestireno usada en la coagulación de látex de caucho	30
Figura 12. Árboles de caucho en proceso de sangría	31
Figura 13. Porcentaje de coagulación de caucho en una hora para dos tipos de ácido coagulante en los cuatro niveles de experimentación	37
Figura 14. Porcentaje de coagulación de caucho en 24 horas para dos tipos de ácido	38
Figura 15. Porcentajes totales de coagulación para una hora	41
Figura 16. Porcentajes totales de coagulación para 24 horas	41
Figura 17. Lámina de látex obtenida del proceso del caucho con ácido cítrico	44
Figura 18. Visualización de la prueba de elasticidad del caucho	45
Figura 19. Visualización de la prueba de elasticidad del caucho utilizando pesas diferentes	45
Figura 20. Visualización de la prueba de elasticidad de las láminas de caucho	46
Figura 21. Elasticidad de las láminas de caucho según tipo y nivel de coagulante	48
Figura 22. Comparación de los costos totales de los métodos convencionales y no convencionales en la coagulación del látex de caucho	50

Lista de cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Comportamiento del área de caucho sembrado en Colombia (2002-2010)	6
Cuadro 2. Composición química del látex natural del caucho	10
Cuadro 3. Descripción del uso y manejo del ácido fórmico en coagulación del látex	16
Cuadro 4. Descripción del uso y manejo del ácido cítrico en coagulación del látex	18
Cuadro 5. Porcentaje de coagulación del látex en una hora	35
Cuadro 6. Porcentaje de coagulación del látex en 24 horas	36
Cuadro 7. Resumen de la variable % de coagulación para el tiempo de coagulación de 1 hora. Análisis de varianza bifactorial	39
Cuadro 8. Resumen de la variable porcentaje de coagulación para tiempo de coagulación de 24 horas. Análisis de varianza bifactorial	42
Cuadro 9. Elasticidad de las láminas de látex obtenidas en los tratamientos del experimento a diferentes pesos aplicados	46
Cuadro 10. Punto de quiebre de las láminas según tipo de ácido utilizado como coagulante	47
Cuadro 11. Elasticidad de las láminas de caucho según tipo y nivel de coagulante	48
Cuadro 12. Análisis económico del experimento de tipo y nivel de ácido empleado en el proceso de coagulación del látex de caucho	49

Introducción

El caucho natural es obtenido a partir del látex emanado por un gran número de plantas, sin embargo a nivel comercial se explota el árbol de caucho (*Hevea Brasiliensis*), especie originaria de la región amazónica.

El caucho fue empleado por los nativos americanos muchos años antes de la llegada de los europeos, quienes al llegar y observar de lo útil que el caucho les resultaba a los nativos americanos se interesaron en él y empezaron a estudiarlo. El sistema de producción del caucho para su buen desarrollo obliga conocer muy bien las etapas que permiten lograr un producto de buena calidad. Estas etapas son:

- El tiempo del ciclo del sistema es muy importante ya que con él logramos hacer que el árbol manifieste a plenitud sus características fenotípicas y genotípicas.
- La etapa de beneficio: permite extraer el látex.
- La etapa agroindustrial: de acuerdo con las calidades del látex, en esta etapa se usa en la elaboración de subproductos.

El látex obtenido del sangrado de los árboles es procesado, con lo que se obtienen las distintas calidades de caucho natural.

El presente trabajo proporciona información sobre los procesos realizados para la coagulación del látex del *Hevea Brasiliensis* (caucho), y precisa los elementos sustanciales para hacer una comparación entre el método convencional y otro método no convencional y brindar a aquellos que lo requieran, otra opción de obtención del látex ya coagulado.

Es fundamental ofrecer a los productores de caucho nuevos métodos de coagulación del látex del *Hevea Brasiliensis* de tal manera que les permita trabajar de una manera artesanal fácil y sin complicaciones.

Colombia posee cerca de 263.000 hectáreas óptimas para el cultivo del caucho, situación soportada tanto por condiciones climáticas como de suelos, y hasta se podrá disponer de 900.000 hectáreas si se consideran algunas regiones en las que las condiciones del suelo no son tan buenas. Adicionalmente, en el mercado nacional hay una demanda considerable que actualmente debe ser suplida con importaciones.

Los departamentos con mayor área destinada a este cultivo son: Caquetá con el 23,55%, seguido de Santander 20,8%, Antioquia y Meta 13% respectivamente.

Con relación a la explotación del caucho, la falta de información sobre investigación e innovación en referencia al método de coagulación del látex de caucho con otras fuentes alternas y diversas de aglutinantes hacen que en muchas regiones del país los ácidos (fórmico y acético) sean las únicas fuentes utilizadas en el proceso de coagulación.

Estos productos adicionados para la obtención de látex seco (1cc de ácido fórmico al 90% de concentración por cada 2 litros de dilución) a su vez vienen provocando en el entorno natural de las regiones caucheras contaminaciones al eliminarse con el lavado los residuos de las láminas obtenidas mediante este proceso. Estos residuos siguen siendo botados a los suelos, ríos y quebradas afectando la flora y fauna.

Lo anterior hace necesario se investigue en métodos alternativos que permitan obtener un caucho seco de calidad, siendo respetuosos de nuestro entorno natural al tener presente un desarrollo sostenible que beneficie tanto a las generaciones actuales como a las futuras.

En referencia al método de coagulación con otras fuentes alternas y diversas y teniendo en cuenta que en el Magdalena Medio se ha incrementado el número de plantaciones de caucho natural en un 22 % (Año, 2009), la Universidad de la Paz

adelanta trabajos de investigación desde hace varios años en los que se ofrece una nueva alternativa artesanal, a los heveicultores para la coagulación del látex disminuyendo los costos en el proceso de coagulación del látex, al sustituir el ácido fórmico por el ácido cítrico de frutas del género citrus especie reticulada (Mandarina) y especie latifolia (Lima Tahití) (Camargo y Ramos, 2012). Esta sustitución disminuye peligros a los operarios encargados de la manipulación de ácidos y permite utilizar métodos más amigables con la naturaleza y el entorno.

Para satisfacer estas necesidades, este trabajo aporta información relacionada con los procesos de beneficio del látex del *Hevea Brasiliensis*, más exactamente con el proceso realizado en la coagulación, para ofrecer a los heveicultores del país alternativas favorables que lo lleven a un mejor desarrollo de sus actividades y por ende lograr una mejor calidad de vida.

El objetivo general perseguido en la presente investigación se centra en comparar dos métodos usados en el proceso de coagulación del látex del *Hevea Brasiliensis* en el Magdalena Medio colombiano.

Para el logro del objetivo general en consideración se persiguieron los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el método de coagulación vigente del látex de *Hevea Brasiliensis*.
- Estudiar las bondades y ventajas del método propuesto de coagulación.
- Comparar la eficiencia de los dos métodos en estudio .
- Diseñar una estrategia para la difusión e implementación del nuevo método.

Marco teórico

1.1 El sistema de producción de caucho en Colombia

En el país se han realizado estudios en los que se han destacado aspectos relacionados con la industria de transformación del caucho natural. En Colombia, existen alrededor de 1.126 empresas con una producción bruta estimada en US\$ 5.705 millones en el 2003, correspondiente al 18,8% de la participación en producción bruta industrial (DANE, 2003 citado por Proexport, 2003). La industria del caucho se encuentra concentrada principalmente en Bogotá con cerca de 275 empresas, seguida de Antioquia y Valle del Cauca con 75 y 70 empresas respectivamente. Es de destacar que en Santander se considera que existen 23 empresas dedicadas a la transformación del caucho (Min agricultura y Universidad Nacional, 2009) y en Cundinamarca alrededor de 20 (Agro cadenas - Confecámaras, 2007).

De acuerdo con la Agenda Prospectiva del Caucho, con respecto a áreas de caucho sembradas, Caquetá es el departamento que cuenta con la mayor extensión con un 24 % de su territorio y una producción de 1.250 toneladas, actividad que está apoyada por la Asociación Regional de Heveicultores (Asoheca), que cultiva y procesa los cauchos para entregar el producto final con especificaciones técnicas (caucho granulado en bloque). Ver cuadro 1.

Según informe del Ministerio de Agricultura y la Universidad Nacional de Colombia, el Departamento del Meta posee 4.058 hectáreas de caucho, 13 % del área total de este cultivo en Colombia, y se constituye en el segundo productor natural de caucho (lámina crepe).

Santander cuenta con asociaciones departamentales de caucho y empresas privadas como Procaucho S.A., que realizan la explotación. Antioquia cuenta con cerca de 230 hectáreas para la producción, en donde se hacen presentes la asociación departamental y entidades privadas como Maveforest S.A. y Mineros S.A.

Cuadro 1. Comportamiento del área de caucho sembrada en Colombia (2002-2010)

DEPARTAMENTO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010 proy
Antioquia	169	469	879	1481	2339	3035	4099	4325	4685
Arauca	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Bolívar			50	50	100	130	130	238	328
Boyacá								108	108
Caldas	408	508	578	578	773	773	968	1155	1385
Caquetá	3588	3738	4670	4678	5664	6864	7150	7850	8750
Casanare	60	60	60	70	101	101	101	101	118
Cauca			120	120	120	120	120	120	138
Cesar								228	318
Córdoba			30	388	919	1061	1840	1972	2242
Cundinamarca	236	236	281	311	567	682	721	789	834
Guaviare	494	584	652	772	1100	1100	1488	1635	1815
Huila	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Magdalena								36	40
Meta	638	1397	1438	1528	1744	2794	4058	7246	11746
Nariño						95	119	122	167
N. Santander	15	15	165	165	165	165	165	165	165
Putumayo	385	626	1226	1226	1226	1357	1804	1200	1200
Quindío	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Santander	564	864	1794	3479	5475	5475	6315	7700	9500
Tolima	140	140	160	210	300	330	379	390	435
Valle del Cauca	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Vichada	7	7	7	7	107	682	250	318	347
Total	6.787	8.727	12.193	15.244	20.783	24.847	29.788	35.781	44.354

Fuente: Consejo Nacional del Caucho – CNC. 2010

El caucho es una sustancia que puede ser encontrada de forma natural o producida sintéticamente, de carácter elástico, repelente al agua y resistente a la electricidad. En su estado natural, se obtiene de un líquido blanco, lechoso, denominado látex, que se extrae de plantas como el caucho, *Hevea Brasiliensis*,

y el hule, *Castilloa elástica*. Su versión artificial puede ser fabricada con hidrocarburos insaturados.

Desde hace siglos, el caucho fue utilizado por diferentes pueblos y civilizaciones en América que, desde antes de la llegada de Colón, lo utilizaban para diferentes aplicaciones. De acuerdo con Guillermo Castro (2008), en su informe *Materiales y compuestos para la industria del neumático*, “los indios peruanos lo llamaban *cauchuc*, 'impermeable', de ahí su nombre. Durante muchos años, los españoles intentaron imitar los productos resistentes al agua de los nativos (calzados, abrigos y capas) sin éxito. El caucho fue en Europa tan solo una simple curiosidad de museo durante los dos siglos posteriores

En 1731, el gobierno francés envió en una expedición geográfica a América del Sur, al geógrafo matemático Charles Marie de La Condamine. En el año 1736, hizo llegar a Francia varios rollos de caucho crudo junto con una descripción de los productos que fabricaban con ello las tribus del valle del Amazonas. Esto reavivó el interés científico por el caucho y sus propiedades. En 1770, el químico británico Joseph Priestley descubrió que frotando con caucho se borraban las marcas y trazos hechos con lápices, y de ahí surgió su nombre en inglés, rubber. La primera aplicación comercial del caucho la inició en 1791 el fabricante inglés Samuel Peal, que patentó un método para impermeabilizar tejidos, tratándolos con caucho disuelto en trementina. Charles Macintosh, químico e inventor británico, fundó en 1823 una fábrica en Glasgow para manufacturar tejidos impermeables y ropa para la lluvia, que lleva desde entonces su nombre”.

El caucho natural en Colombia se incluye dentro de la Apuesta Exportadora Agropecuaria (periodo 2006 – 2020) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, notando que, en los últimos años se ha presentado un notorio crecimiento en la dinámica de ampliación del área de cultivos en las diferentes regiones del país (Minambiente, sin fecha). Adicionalmente, el caucho natural cuenta con una

significativa participación en la industria transformadora, siendo materia prima clave para una gran variedad de productos terminados que van desde aplicaciones especializadas tales como las llantas, hasta artículos de aseo de consumo masivo como los guantes.

La importancia económica y social de las actividades de la cadena de caucho natural y su industria, el potencial tanto en el mercado interno como externo, los esfuerzos del gobierno nacional y de entidades internacionales y nacionales de fomento de esta rama productiva, hacen del caucho una opción para la sustitución de cultivos ilícitos, permitiendo a la población acceder a un sistema de producción legal que les facilita utilizar la mano de obra familiar.

Actualmente en el país hay unas 45.000 hectáreas de caucho repartidas en 22 departamentos, destacándose principalmente Meta, Santander, Caquetá y Córdoba, que representan el 85% del total del país.

Los diferentes clones de caucho (americanos y asiáticos) sembrados en varios departamentos de Colombia son (Alfonso, 2008):

- Indonesia: GT1 (GondangTapen) y PR 261 (Proesftation Rubber)
- Malasia: PB 260 (Prang Besar), PB 235, PB 217, RRIM 600 (RubberResearch Instituto Of Malasia) y RRIM 712
- Brasil: IAN 717 (Instituto Agronómico do Norte), IAN 873, IAN 710, IAN 873, FX 4098 y FX 3864 (Fordlandia).
- Para el caso de la Amazonía se recomiendan los siguiente clones: FX 3864, IAN 710, IAN 873, RRIM 600, PB 260, PR 107 y PB 216 (como injerto de copa).
- Actualmente para Colombia se analizan algunos clones: IAN 710, IAN 873, FX 3864.
- Otros: CNSAM 7905, FX 3899 –p1, FX 3864- P2 y IAN 6158 – P4.

Según Juan Carlos Silva, director de la Confederación Cauchera Colombiana, del total del área sembrada solo el 13% está en producción (Guerrero, 2012).

1.2 Proceso de beneficio del caucho

El cultivo del caucho (*Hevea Brasiliensis*) se ha convertido en una alternativa productiva en diferentes regiones del país debido a su gran adaptación por parte de la comunidad, su fácil manejo, su estabilidad productiva y porque permite el establecimiento de una agricultura sostenible, especialmente en regiones donde las explotaciones agropecuarias tradicionales ya no son rentables por la degradación del medio.

La producción de caucho depende por una parte de la cantidad de látex producida por sangría, y del porcentaje de caucho contenido en el látex, y por otra parte de la capacidad del árbol de regenerar el látex entre dos sangrías definitivas. Estos comportamientos varían para un material vegetal específico, explotado en ciertas condiciones, en función del tamaño de los árboles y de su edad.

Figura 1. Extracción del látex del *Hevea Brasiliensis*.



Fuente: Cultivo de Hule, Anacafé. Junio de 2004, página 16.

El látex natural se obtiene a partir de la savia extraída del árbol *Hevea Brasiliensis* o árbol del caucho. El látex es el jugo blanco o amarillento que circula por los vasos de este árbol. Es un líquido lechoso o resina abundante hasta los 25 años

de edad del árbol (Haiku Futon, sin fecha) que se caracteriza por ser una dispersión coloidal de glóbulos de caucho en un medio acuoso, comúnmente llamado suero, por analogía con el suero de la leche o de la sangre. (Ver figura 1).

La composición del látex es compleja, pues además del agua y del hidrocarburo caucho, el látex contiene pequeñas cantidades de otras sustancias llamadas constituyentes no caucho. Estas se encuentran ya sea en dispersión o en solución en el suero, o bien asociadas a los glóbulos del caucho. (Ver cuadro 2).

La extracción del látex empieza cuando más del 50% de los (500) árboles alcanzan una circunferencia mayor de 45 centímetros a 1,3 metros de altura del cuello de la raíz. Esta extracción empieza a los 5 años y medio dependiendo del clima, suelo, y manejo del cultivo.

Cuadro 2. Composición química del látex natural del Caucho

Componente	Porcentaje
Hidrocarburo de caucho	30 – 36 %
Cenizas	0.5 %
Proteínas	1.5 %
Resina	2 %
Quebrachitol (C ₇ H ₁₄ O ₆)	0.5 %
Agua	60 %

Fuente: Castellanos, Fonseca y Barón, 2009

Sin embargo, esta composición puede variar de acuerdo a la parte del tronco de donde se extraiga el látex, la época de extracción, el suelo y la casta (familia) del árbol. El látex es un producto de desecho del árbol y cuando más se extrae más se regenera el árbol. Para su coagulación se utilizan los ácido fórmico o acético, y su cantidad requerida depende del estado del árbol y las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra el árbol. Por ejemplo, es común que los arboles

jóvenes generen un látex inestable y durante el sangrado es necesario añadir amoníaco para su conservación y así asegurar su estabilidad hasta el proceso de manufactura (Castro, 2008).

El caucho natural también puede obtenerse del látex de otros árboles del género *Hevea* tales como: *v.g. guinensis*, *H pauciflora* y el árbol de hule *Castilloa elástica*, originario de México (Camargo y Ramos, 2012).

Para su beneficio se comienza seleccionando con marcas de pintura visibles los árboles que en su fuste o tronco tienen una longitud perimetral de 45 centímetros a una altura de 1.30 metros del cuello de la raíz. Y luego se marcan los que están de 40 a 44 para ser aprovechados el año siguiente. Cuando la corteza es muy delgada, el árbol no debe ser sangrado por que se hiere el tallo y perjudica la producción futura del árbol. Cuando se tenga en el lote marcado un 50% de árboles con una longitud perimetral de 45 centímetros a 1.30 metros del cuello de la raíz se justifica por costos iniciar las labores de rayado.

La sangría del árbol de caucho es una de las prácticas más importantes en la explotación del cultivo, ya que determina la vida útil del árbol y su producción está asociada en gran parte con los costos de producción. Una vez recolectado, el látex debe ser tratado dependiendo del producto que se quiera comercializar, bien sea el látex concentrado al 60% o el caucho en forma sólida. No hay innovación en referencia al método de coagulación con otras fuentes alternas y diversas de aglutinantes dispuestas en el medio.

Existen dos tipos de coagulación:

- Deliberada, la cual se hace en presencia de ácido por disminución de la carga hasta un valor tal que ya no puede garantizar la estabilidad de la dispersión, sea en presencia de alcoholes o de acetona por disolución de la capa protídica protectora.

- Espontanea, debida a la actividad bioquímica que se desarrolla durante la maduración del látex dejado en su sitio por acción de enzimas proteolíticas y de bacterias.

Los anteriores tipos de coagulación permiten la obtención de caucho seco, tanto la espontanea (fondos de tasa) como la deliberada la cual una vez se obtiene el coágulo, este se lleva a la laminadora para su disminución de grosor (10cm a 2mm). Estas láminas son lavadas posteriormente con abundante agua para retirar los excedentes de ácidos los cuales van a dar a las corrientes de agua desestabilizando el entorno acuático y edáfico aledaño al sistema de producción. La preservación del látex, se hace aumentando el pH de la dispersión coloidal, por adición de una base susceptible de aumentar la repulsión mutua de los glóbulos de caucho mediante el incremento de su carga negativa (Bastidas, 2000).

Hoy en día se usan un variado número de preservantes, pero el más conocido y utilizado es el amoníaco (3 a 4 g de amoníaco por litro de látex)

En plantaciones industriales, el látex de diferentes orígenes se recibe y se vierte en grandes tanques donde se mezclan. En plantaciones pequeñas el productor recolecta el látex y lo lleva a su pequeño beneficiadero o bien lo coagula en el campo y transporta los coágulos a éste.

La manera clásica de transformar el látex recolectado comprende una serie de operaciones, bien sea en pequeñas o grandes instalaciones. Una vez recolectado el látex se sigue los siguientes pasos:

- **Dilución:** Esta consiste en agregar agua al látex, con el fin de llevar el contenido de caucho a una concentración constante del 12 al 16%, dilución que está relacionada con el clima de la región y el estado del árbol. Una vez recolectado el látex, es llevado al beneficiadero donde es necesario diluirlo,

para disminuir su concentración inicial facilitando el filtrado y el proceso de laminación.

La cantidad de agua a utilizar en la dilución, depende de la época (verano - invierno), el estado foliar de la plantación y el clon sembrado.

En general se recomienda:

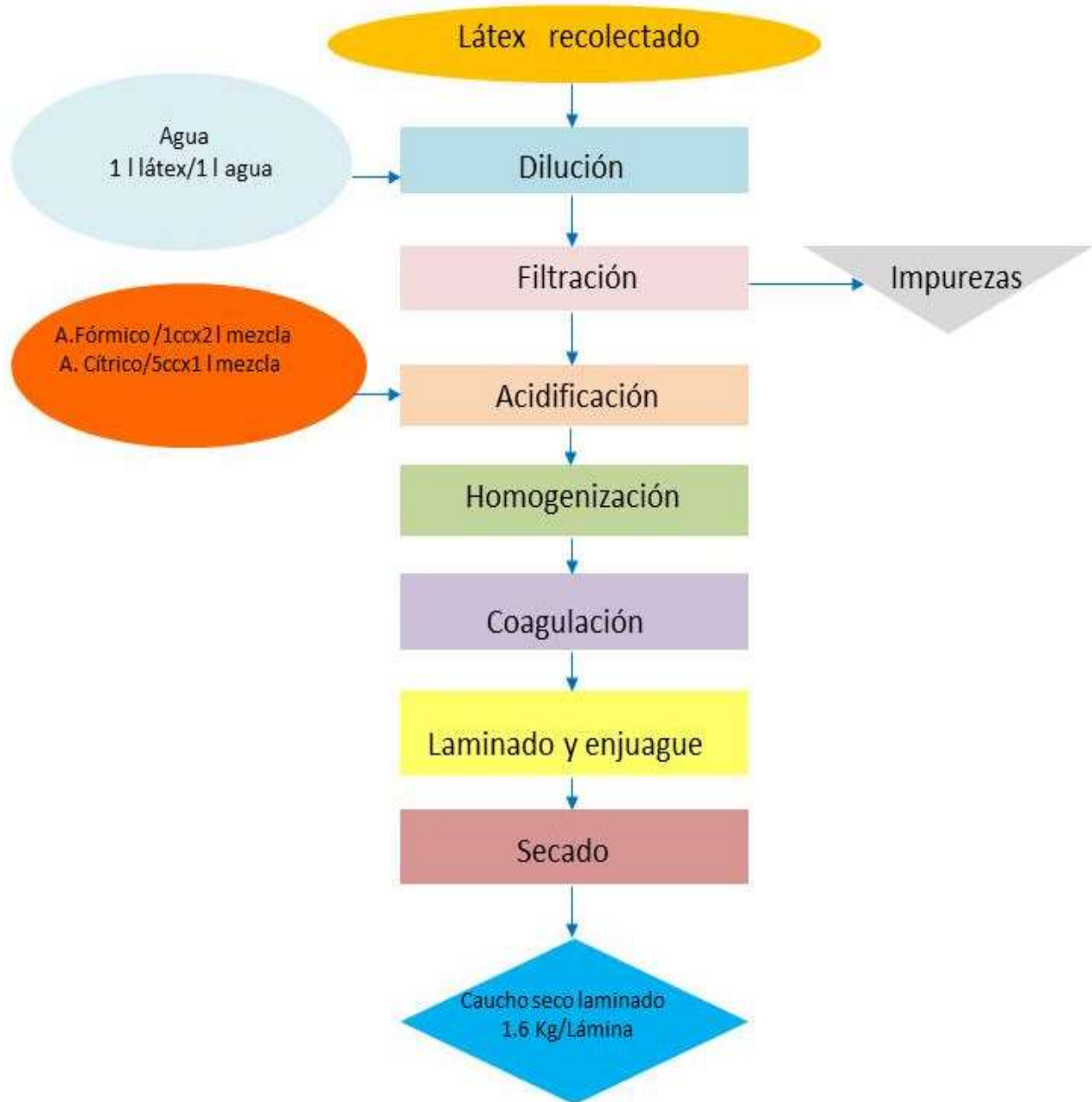
Época de lluvias: 1 litro de látex 0.5 litros de agua

Época de verano: 1 litro de látex 2 litros de agua

Época normal: 1 litro de látex 1 litro de agua

- **Filtrado:** para eliminar agentes extraños como es el caso de impurezas en el caucho seco, lo cual es un factor que disminuye su calidad final; es indispensable filtrar el látex, para eliminar algunos residuos como coágulos, insectos, flores, hojas, trozos de corteza etc., operación para la cual se recomienda primero diluir y después filtrar, para facilitar el paso de la mezcla por los orificios del filtro.
- **Acidificación:** es la reagrupación de todas las partículas de hidrocarburos del caucho, utilizando ácido fórmico, acético o cítrico. Para que descienda el pH, se recomienda el uso de 6 cm³ de ácido fórmico para 12 litros de la dilución. (Ver figura 2).

Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de Beneficio del caucho



Fuente: esta investigación

1.2.1 Proceso de coagulación del látex del caucho por el método convencional

La coagulación del látex en Colombia se viene efectuando mediante la utilización de los ácidos fórmico y acético (**Ver cuadro 3**), siendo el más utilizado el primero. Una vez filtrada la mezcla de agua y látex para eliminar las impurezas, se adiciona el ácido a razón de 1 cc por cada dos litros de mezcla. Esta mezcla una vez agregado el ácido se agita para homogenizarla y se vierte en un recipiente de coagulación (canao, alberca, gaveras etc.), el cual tiene que ser de material de madera, fibra de vidrio o de acero inoxidable, Con unas dimensiones de 1.5 m de largo, 20 cm. de ancho y 10 cm. de altura. En estas se deja la mezcla durante 24 horas. A las 24 horas se coagula y se obtiene un coágulo de 1,5 a 2 Kg de caucho seco. (**Ver figura 3**).

Figura 3. Empleo de Canoas en el proceso de coagulación del látex



Fuente: Alfonso, 2008.

Cuadro 3. Descripción del uso y manejo del ácido fórmico en la coagulación del látex

Acido Fórmico	
Formula	HCOOH (Ácido Hidrógeno-Carboxílico, Ácido Metanóico) UN: 1779
Descripción	Líquido incoloro, fumante, olor picante, penetrante soluble en agua, alcohol y éter.
Peligros	Muy tóxico por inhalación e ingestión. Fuerte irritante para los tejidos. Tolerancia, 5 ppm en aire
Precauciones	Líquido corrosivo. Combustible. Hazardclass: 8.1. UN/AN: UN1779
Empaque estándar	Garrafa Plástica X 35 Kilos Netos
Aplicaciones	Teñido y acabado en la industria textil y de papel. Tratamiento de cuero, Formiato de celulosa. Químico (formiatos, esterres orgánicos, ácidos oxálicos). Disolvente para perfumes, lacas. Flotación de minerales. Manufactura de fumigantes, insecticida, refrigerantes. Medicina, cervecería (antiséptico). Galvanizados, plateado de vidrios. Coagulantes del látex natural, flotación de minerales. Plastificantes de resinasvinílicas, Aditivoparapienso de animales.

Fuente: Ministerio de Ambiente, sin fecha.

De la cantidad y clase de ácido usado en la coagulación dependen las operaciones de laminación y secamiento. Cuando la mezcla coagulada tiene un pH alto, por lo que el tiempo de maduración debe ser más alto (Rincón, 1996).

Si se desea obtener cauchos claros, casi blancos, durante la coagulación, se debe adicionar meta bisulfito de Sodio, para impedir la oxidación, a razón de 1 gramo por litro de látex diluido.

1.2.2 Producción de Látex líquido

Para producir látex en estado líquido es necesario utilizar algunas sustancias con propiedades anticoagulantes como el formaldehido, el sulfito sódico o el amoníaco, además de aplicar centrifugación para que se concentren los sólidos del látex. De esta manera, se obtiene en primera instancia un látex suave, con

polímeros de caucho; un látex alto en proteínas hidrosolubles y, finalmente uno con composición de hidrolasas, principalmente.

En Colombia, el caucho natural se procesa en su mayoría en forma artesanal. La única planta existente en el país para obtener caucho granulado se encuentra en Caquetá, gracias a una donación del gobierno de Japón. Sin embargo, debido a la baja capacidad de procesamiento, actualmente solo se usa en un 10 % (Minagricultura y Universidad Nacional, 2009).

En esta planta, la Asociación de Heveicultores del Caquetá procesa el caucho obtenido en los diferentes cultivos de sus asociados, para generar finalmente *pellets* (gránulos) que son secados, prensados, empacados y distribuidos.

Según informe consignado en la Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de Caucho Natural (Min agricultura y Universidad Nacional, 2009), en Santander se planea la construcción de una planta similar que procese el caucho producido en diferentes cultivos a lo largo del Magdalena Medio. Actualmente, Procaucho es el mayor productor del Departamento, y realiza su trabajo de forma artesanal.

En cuanto a la innovación en referencia al método de coagulación con otras fuentes alternas y diversas y teniendo en cuenta que en el Magdalena Medio se ha incrementado el número de plantaciones de caucho natural en un(22 %) (Dane, 2009), el Instituto Universitario de la Paz adelanta trabajos de investigación que ofrecen una nueva alternativa artesanal a los heveicultores para la coagulación del látex disminuyendo los costos en el proceso de coagulación al sustituir el ácido fórmico por el ácido cítrico proveniente de frutas del genero citrus especie reticulada (Mandarina) y especie latifolia (Lima Tahití). El 95% de la producción del látex a nivel nacional se realiza de manera artesanal. Fuentes naturales de ácidos cítricos procedentes de limas no resultan ajenas a

este tipo de producción, pues disminuyen el riesgo de que los operarios al manipularlo se ocasionen lesiones.

En el Magdalena Medio en la actualidad se encuentran un buen número de hectáreas sembradas y en producción. Además esta zona es gran productora de frutos cítricos que haría mucho más viable este proceso al contar con la materia prima para realizar este proceso.

1.2.3. Coagulación del látex del caucho por el método no convencional

Según investigación realizada en la Universidad de la Paz de Barrancabermeja, Zuley Camargo y Yadiris Ramos (2012), la coagulación del látex del *Hevea Brasiliensis* puede realizarse también utilizando ácido cítrico proveniente de limas ácidas. (Ver cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción del uso y manejo del ácido cítrico en la coagulación de látex

Ácido Cítrico	
Código	70 06 01 050
Formula	C ₆ H ₈ O ₇ P.M 192.13
Descripción	Cristales o polvo traslúcidos, incoloros, inodoro, fuerte sabor ácido, soluble en agua, soluble en alcohol y éter.
Aplicaciones	Preparación de Citratos, extracto de aromas, bebidas refrescantes sales efervescentes. Antioxidante en alimentos, agente secuestrante, agente limpiador y pulimentador para acero inoxidable y otros metales.
Empaque Original	Saco multi-plegado papel/pe x 25 k. N

Fuente: GMP Productos Químicos S.A.

En este método una vez recolectado el látex se lleva al beneficiadero donde se adiciona el agua para homogenizar. Posteriormente se pasa por un colador o

tamiz para retirar las impurezas. Previamente se ha preparado el jugo de limón al cual se le ha tomado su pH, el que oscila entre 2.4 y 2.6, y se adiciona a la mezcla de agua y látex a razón de 17 cc por litro. Esta relación permite una velocidad de coagulación rápida dando además una lámina de buena calidad en su color, textura y elasticidad (Camargo y Ramos, 2012).

La velocidad de coagulación es lenta cuando se aplica por litro de mezcla de agua y látex 7 cc de ácido cítrico, obteniéndose como resultado una lámina de buena coloración, textura y elasticidad.

Este método permite un mejor manejo del entorno porque los residuos resultantes del lavado de las láminas no contaminan el medio donde son evacuados. Suelen desdoblarse rápidamente por la acción de los factores edafoclimáticos, lo que los hace atractivos en el proceso de beneficio del *Hevea Brasiliensis*.

2. Metodología y procedimientos de investigación

2.1. Marco geográfico (Localización)

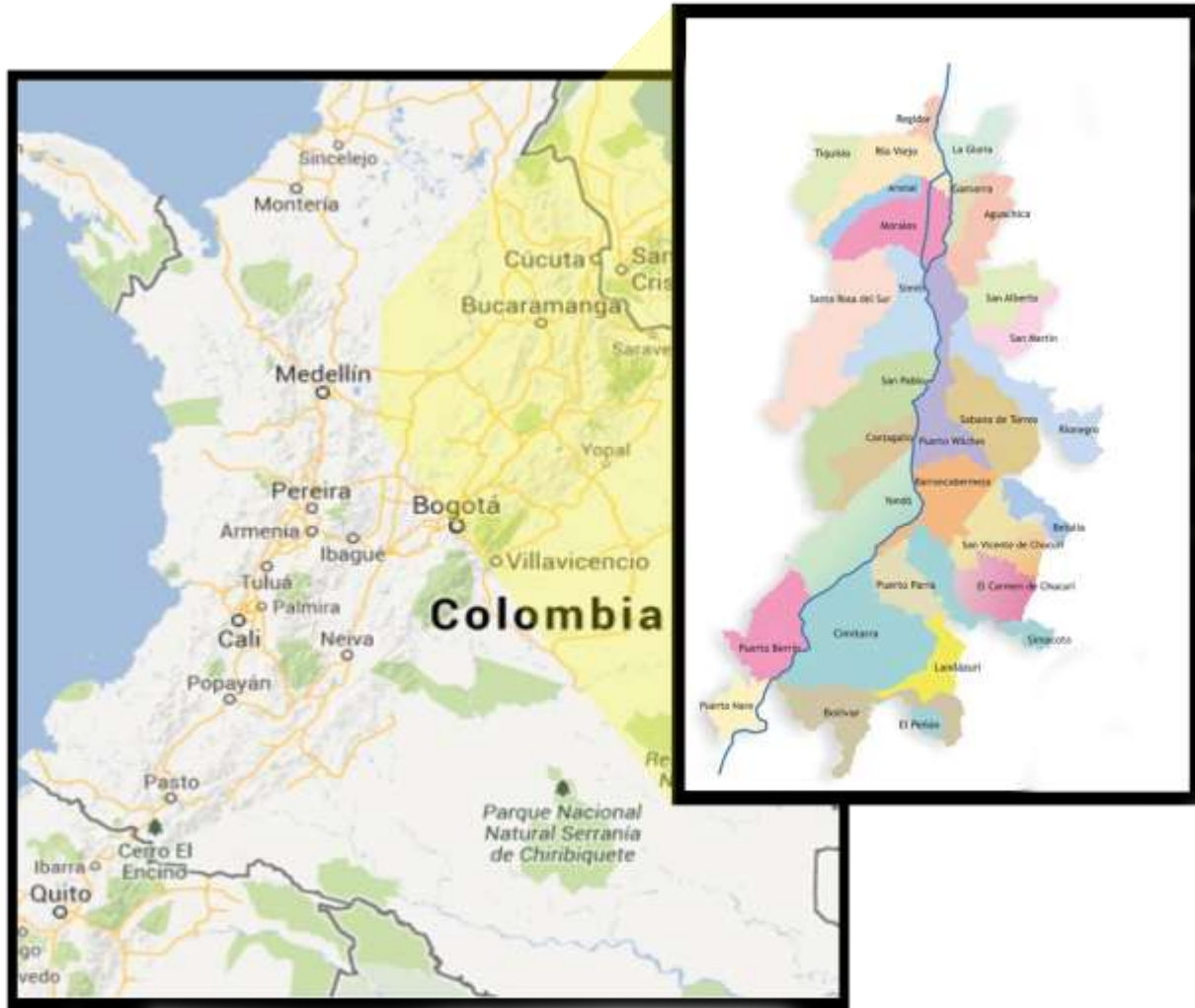
Esta investigación se llevo a cabo en el Magdalena Medio región de Colombia ubicada entre los rápidos del Río Magdalena alrededor de Honda (Tolima) y la entrada de este mismo afluente a las llanuras de la Costa Atlántica. **(Ver figura 4)**.

Esta región, que comunica el norte, centro y sur de Colombia fluvialmente, por el Río Magdalena, y de forma terrestre mediante la Troncal del Magdalena, se divide en la subregión sur (Dorada/Puerto Salgar hasta Barrancabermeja-Yondó) y la norte (Barrancabermeja/Yondó hasta Gamarra). **(Ver figura 5)**.

La principal actividad económica de esta región es la ganadería, seguida de la agricultura y el petróleo (Barrancabermeja). Por su ubicación estratégica en el país, el Magdalena Medio ha sido blanco de los intereses de narcotraficantes, guerrilla, paramilitares y otras bandas delincuenciales que han afectado el desarrollo económico y los factores sociales de la región.

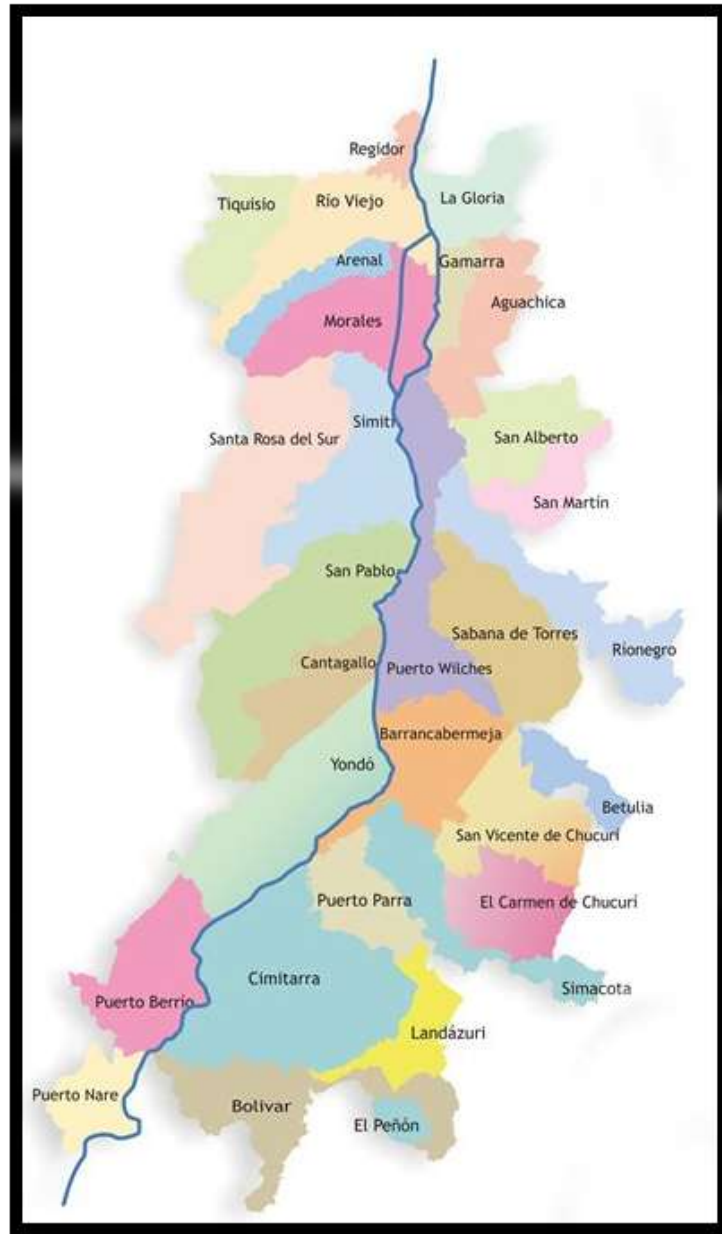
Con respecto al caucho en esta zona, el cultivo se encuentra presente principalmente en los departamentos de Santander, Antioquia, Caldas, Cesar y Bolívar (cerca de 12.000 hectáreas de caucho natural, con 950 de ellas en producción, de acuerdo con la Confederación Cauchera Colombiana (Corpoica, 2010). Se espera que para los próximos diez años se aumente anualmente entre 4.000 y 6.000 hectáreas de caucho en la región. (Cita)

Figura 4. Situación geográfica del Magdalena Medio en Colombia



Fuente: elaboración propia a partir de Google Maps y la Red de Emisoras Comunitarias del Magdalena Medio.

Figura 5. Localización del Magdalena Medio Santandereano.



Fuente: Red de Emisoras Comunitarias del Magdalena Medio

2.2. Fuentes de Información

Este trabajo tomó en cuenta los estudios realizados por las diferentes Agroempresas y microempresas de heveicultores de Colombia, que usan métodos tradicionales de coagulación del látex de caucho.

También se revisaron los estudios sobre coagulación por fuentes orgánicas tales como los realizados en la región del Magdalena Medio, municipios de Cimitarra y Barrancabermeja. (Tavera, 2012; Berthier, 2012; Camargo y Ramos, 2012).

2.3 Diseño metodológico experimental

Para realizar este trabajo se ha tenido en cuenta el método investigativo experimental, que *“se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de precisar de que modo o porque causa se produce una situación o acontecimiento particular.”*

El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas”(Tamayo, 2001).

Para aplicar este método es necesario definir variables que permitan asumir distintos valores. Retomando a Tamayo (2001), *“es la relación causa- efecto que se da entre uno o más fenómenos estudiados”*.

La presente investigación se fundamentó en la comparación de dos métodos de coagulación del látex de caucho *Hevea Brasiliensis*: el método convencional y otro no convencional, para lo cual se diseñó un experimento bifactorial en distribución completamente al azar. Los dos factores experimentales fueron:
Factor 1: Método de coagulación con dos variantes o métodos:

Método 1 con ácido fórmico (f)

Método 2 con ácido cítrico (c).

Factor 2: Cantidad de coagulante usado para la coagulación del látex.

Se usaron cuatro niveles: $n_1 = 1.0$ cc de ácido (20 gotas)

$n_2 = 2.5$ cc de ácido (50 gotas)

$n_3 = 3.5$ cc de ácido (70 gotas)

$n_4 = 5.0$ cc de ácido (100 gotas)

Se llevaron a cabo cuatro (4) replicaciones por tratamiento para un total de 32 unidades experimentales (ocho unidades experimentales por replicación).

REPLICACIÓN

TRATAMIENTOS

$R_1 \longrightarrow fn_1, fn_2, fn_3, fn_4, cn_1, cn_2, cn_3, cn_4.$

$R_2 \longrightarrow fn_1, fn_2, fn_3, fn_4, cn_1, cn_2, cn_3, cn_4,$

$R_3 \longrightarrow fn_1, fn_2, fn_3, fn_4, cn_1, cn_2, cn_3, cn_4.$

$R_4 \longrightarrow fn_1, fn_2, fn_3, fn_4, cn_1, cn_2, cn_3, cn_4$

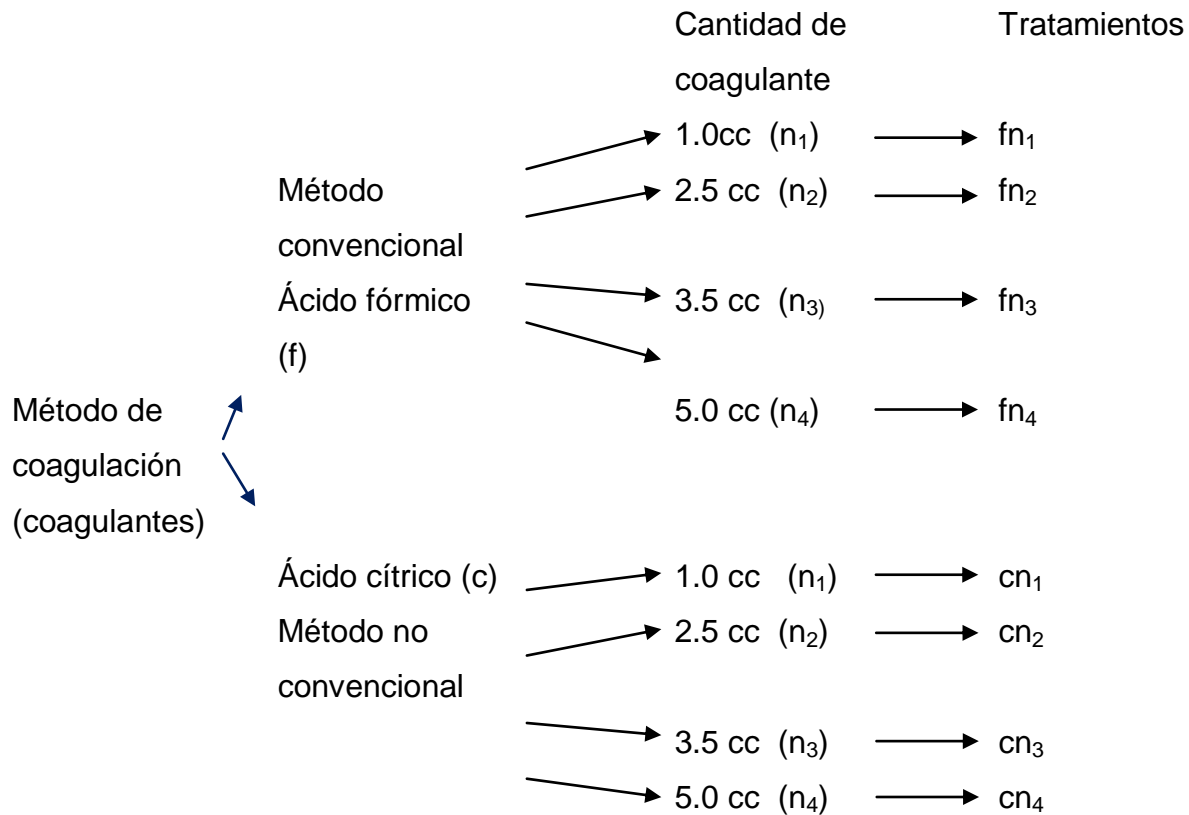
Donde R: Replicaciones

f: ácido fórmico.

c: ácido cítrico.

n: nivel de ácido coagulante.

El diagrama de árbol elaborado para definir los tratamientos a estudiar se presenta a continuación



Número de tratamientos: 8 (ocho).

En el diagrama de árbol para esta investigación el primer factor es el tipo de ácido coagulante y el segundo factor es el nivel de coagulante (cantidad).

Las variables dependientes estudiadas fueron:

Variable 1: Tiempo de coagulación del látex

Variable 2. Calidad de las láminas de caucho obtenidas (elasticidad y plasticidad).

En la realización del experimento se tomaron cuatro volúmenes diferentes de ácidos (fórmico y cítrico) 1.0cc, 2.5cc, 3.5cc, 5.0cc, para adicionar al látex obtenido del proceso y Cada cierto tiempo controlado (1 hora y 24 horas) se midió la coagulación.

El estudio se realizó en el Centro de Investigaciones Santa Lucía del Instituto Universitario de la Paz, ubicado en la margen izquierda del kilómetro 14 en la vía que de Barrancabermeja conduce a la ciudad de Bucaramanga; con N 7°03'48" W 73°51'50" y 78 msnm.

Para la realización del experimento se utilizaron los siguientes materiales:

Árboles de caucho

Látex líquido

Acido fórmico

Ácido cítrico *Lima Tahití*. (Ver figuras 6 y 7)

Agua

Láminas de caucho seco (Ver figura 8)

Beneficiadero (laboratorio) (Ver figura 9 y 10)

Figura 6. Lima en rama y su azahar (especie vegetal fuente del ácido cítrico)



Fuente: Wikipedia

Figura 7. Lima persa o limón tahití



Fuente: Wikipedia

Figura 8. Lámina de caucho seco obtenida con ácido fórmico



Fuente: esta investigación

Figura 9. Beneficiadero (Laboratorio)

Fuente: esta investigación

Figura 10. Látex líquido en proceso de coagulación.

Fuente: esta investigación

Como materiales de apoyo para la investigación se emplearon:

Herramientas (Gubia, punzón, banderola, tasas, alambres para soportes, canaletas)

Recipientes plásticos

Flexómetro

Bandejas de poliestireno (icopor) (Ver figura 11)

Tensores y pesas para prueba física

Computador

Impresora

Cámara fotográfica

Resma de papel

Goterros

Colador plástico

Libreta para apuntes

Figura 11. Bandeja de poliestireno usada en el proceso de coagulación del látex de caucho



Fuente: esta investigación

2.4. Métodos de campo y de laboratorio

2.4.1 Recolección del látex y beneficio

El proceso de recolección del látex, se realizó en un cultivo de caucho ubicado en el Centro de Investigación Santa Lucía de la Universidad de la Paz en el municipio de Barrancabermeja, plantación de dieciocho años (18). Los árboles escogidos para el rayado fueron quince (15). Una vez hecho el rayado se dejaron sangrando por un tiempo de tres (3) horas. (**Ver figura 12**).

Figura 12. Árboles de caucho en proceso de sangría



Fuente: esta investigación

Pasado este tiempo se recogió el látex y se llevó al beneficiadero donde se procedió a la dilución, filtrado, acidificación y coagulación en bandejas de poliestireno.

2.5 Métodos de recolección de la información

Para obtener la medición de las variables dependientes objeto del experimento se procesaron dos tiempos: 1 hora y 24 horas. En estos lapsos de tiempo se midió la coagulación y se hicieron los respectivos registros de datos, para lo cual se diseñó un formato estructurado de acuerdo a las características del experimento.

2.6 Métodos de organización, sistematización y análisis de la información y resultados

Recurrimos para esta investigación a los métodos de análisis de información estadísticos y a los métodos de análisis económicos.

El manejo de las Fuentes de información estadística requiere además de la selección adecuada de la Población y la Muestra con la que se trabaja, la selección e instrumentación adecuada de los métodos y técnicas a emplear, lo cual implica el reconocimiento de la metodología desarrollada acerca de las características de estas técnicas, así como de su modo de empleo, que de forma general devienen en la confección y aplicación de instrumentos. En este sentido se necesita también la aplicación de un adecuado proceso de codificación de la información obtenida, así como su organización e interpretación de resultados (Numa, Faustino, Martín; sin fecha).

Para el análisis estadístico de la información se utiliza el análisis de varianza ANOVA para experimentos bifactoriales en distribución completamente al azar. Igualmente, la información obtenida en la investigación se sometió a un análisis económico de costos para determinar el tratamiento más recomendable desde el punto de vista de los costos más bajos.

3. Análisis y Discusión de Resultados

3.1. Características de los métodos en estudio

3.1.1 Características del método convencional

Procedimiento:

Para la realización del proceso de coagulación, una vez rayado el árbol se deja sangrar durante un tiempo de tres (3) horas. Seguidamente se recoge el látex de las tasas para llevarlo al sitio de procesamiento. Allí se diluye utilizando agua y dependiendo de la época del año. Es así como se recomienda utilizar en tiempos de invierno un litro de látex por cinco litros de agua; en época de verano un litro de látex por dos litros de agua y cuando el tiempo es normal se adiciona por cada litro de látex, un litro de agua. Luego se hace el proceso de filtración para eliminar residuos tales como coágulos, insectos, y otros.

Para reagrupar las partículas de caucho dispersas en el látex se adiciona ácido fórmico o ácido acético al 90%, agregando por cada centímetro cúbico de ácido dos litros de la mezcla agua-látex. Esta mezcla se vierte en las canoas de coagulación por espacio de veinticuatro horas (24 h) dando como resultado un coágulo homogéneo y fácil de laminar.

Ventajas:

- Rapidez en la coagulación del látex
- Produce láminas de buenas características físicas (elasticidad, plasticidad, textura, color).

Desventajas:

- Requiere de la utilización adecuada de los elementos de protección personal por ser tóxicos y corrosivos.
- Son perjudiciales para la salud humana (seres vivos)
- Contaminan el suelo una vez se hace el lavado de las láminas.
- Contaminan las aguas por los residuos del lavado de las láminas
- Acaban con la flora y la fauna debido a la acumulación residual en el suelo y en el agua.
- Los productos utilizados en el método convencional son de alto costo.

3.1.2 Características del método no convencional (Propuesto)

El método no convencional sigue los pasos del método convencional hasta el inicio de la acidificación, operación en donde se cambia los productos utilizados para la coagulación del látex. En lugar de utilizar ácidos fórmico o acético emplea ácido cítrico extraído de la lima ácida Tahití o limón persa.

Este método ofrece las siguientes ventajas:

- Materia prima de fácil consecución
- No es contaminante al medio ambiente.
- No requiere equipos de protección personal para su manejo.
- De bajo costo económico
- Da una lámina de buenas características físicas (plasticidad, elasticidad, color, textura)

Desventajas:

- La reagrupación de las partículas de caucho en el látex es más lenta.
- La coagulación se demora más.

3.2 Determinación del porcentaje de coagulación de los métodos en comparación

Para tal efecto, se tomaron los cuatro volúmenes diferentes de ácidos fórmico y cítrico propuestos para adicionar al látex obtenido del proceso y se efectuaron las

respectivas mediciones del porcentaje de coagulación a la hora y 24 horas. Se llevaron a cabo cuatro repeticiones del ensayo diseñado para adelantar este estudio.

El cuadro 5 contiene el porcentaje de coagulación obtenido al término de 1 hora de haberle aplicado el coagulante (f: ácido fórmico; o, c: ácido cítrico) al látex, para cada una de las repeticiones del ensayo. Los promedios se consolidaron en el cuadro mencionado.

Se puede observar en el cuadro 5 que los tratamientos fn_1 , fn_3 , fn_4 presentan el mismo porcentaje de coagulación en las cuatro repeticiones.

Cuadro 5. Porcentaje de coagulación del látex al término de 1 hora de aplicación del coagulante.

TRATAMIENTOS	REPLICACIONES				\bar{X}
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
Ácido fórmico / 1000 cc látex					
fn_1	28%	28%	28%	28%	28%
fn_2	42%	40%	42%	42%	41.5%
fn_3	50%	50%	50%	50%	50%
fn_4	60%	60%	60%	60%	60%
Ácido cítrico / 1000 cc de látex	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	\bar{X}
cn_1	1.6%	2.0%	2.0%	1.6%	1.8%
cn_2	5.0%	4.0%	4.0%	5.0%	4.5%
cn_3	6.6%	6.6%	6.0%	6.6%	6.45%
cn_4	10%	9.3%	8.3%	10%	9.4%

Fuente: esta investigación

Se destaca en este cuadro que el tratamiento de más alto porcentaje de coagulación corresponde al fn_4 con el 60% en tanto el tratamiento cn_1 fue el que arrojó los resultados más bajos de porcentaje de coagulación con el 1.8%.

En el **cuadro 6** se presenta el porcentaje de coagulación obtenido luego de 24 horas de haberle aplicado el coagulante (f: ácido fórmico; o, c: ácido cítrico) al látex, para las cuatro repeticiones del ensayo. Luego se halló el promedio para cada uno de los tratamientos en estudio.

Como lo ilustra el **cuadro 6**, los tratamientos fn_3 , fn_4 , cn_3 , cn_4 presentan el mismo porcentaje de coagulación para las cuatro repeticiones, pero los tratamientos de mejor comportamiento fueron el fn_3 , fn_4 , cn_3 y cn_4 todos ellos con el 100% de coagulación.

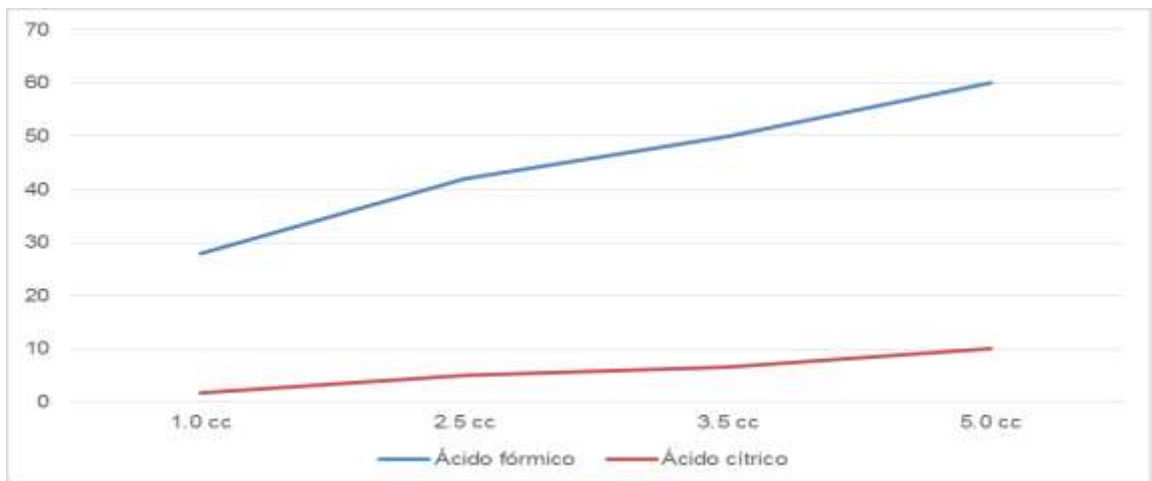
Cuadro 6. Porcentaje de coagulación del látex en 24 horas.

TRATAMIENTOS	REPLICACIONES				\bar{X}
Ácido fórmico / 1000 cc látex	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
fn_1	85%	85%	85%	85%	85%
fn_2	95%	95%	95%	95%	95%
fn_3	100%	100%	100%	100%	100%
fn_4	100%	100%	100%	100%	100%
Ácido cítrico / 1000 cc de látex	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	\bar{X}
cn_1	70%	75%	80%	75%	75%
cn_2	90%	90%	90%	95%	91.25%
cn_3	100%	100%	100%	100%	100%
cn_4	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: esta investigación

La **figura 13** nos muestra el comportamiento de la variable de la rapidez de coagulación del tratamiento con ácido fórmico respecto a los del ácido cítrico cuando ha transcurrido una hora de iniciado el procedimiento. Se observa que el volumen de 5.0 cc de ácido fórmico es el que mejor comportamiento presenta luego de una hora. Sin embargo, trascurrido este tiempo, se observa una diferencia significativa entre los resultados obtenidos con ácido fórmico, de mayor rapidez, y ácido cítrico, con una acción más lenta.

Figura 13. Porcentaje de coagulación del caucho en **una hora** para los dos tipos de ácido coagulante en los cuatro niveles en experimentación.

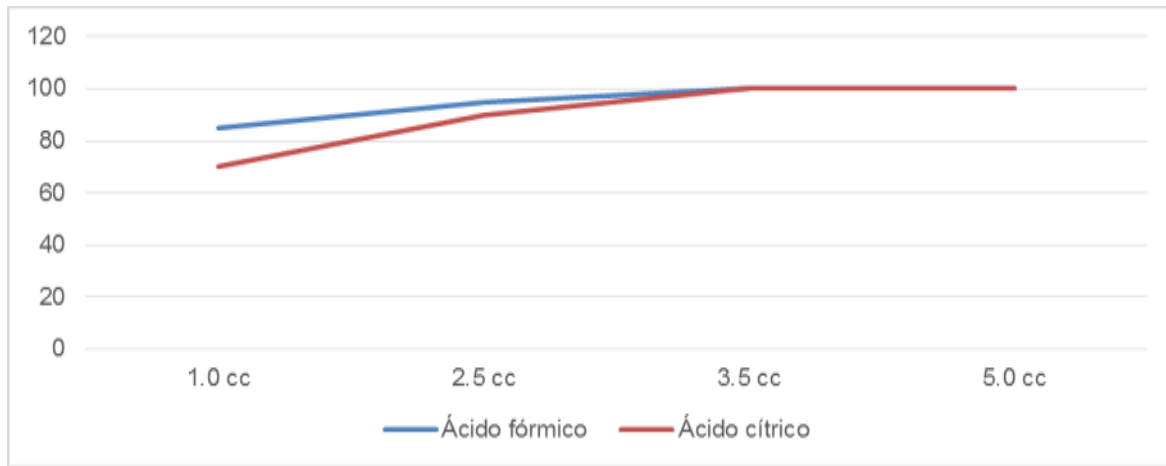


Fuente: esta investigación.

La figura 14 ilustra la rapidez de la coagulación del caucho de los tratamientos con ácido fórmico respecto a la del ácido cítrico pero mostrando que cuando han transcurrido veinticuatro horas de iniciado el tratamiento la diferencia entre el porcentaje de coagulación de los dos tratamientos es mínima.

Este procedimiento se repitió cuatro veces para corroborar la eficacia y veracidad del proceso y precisar el margen de error.

Figura 14. Porcentaje de coagulación del caucho en 24 horas para los dos tipos de ácido.



Fuente: esta investigación.

La información consignada en los cuadros anteriores se sometió al análisis estadístico multivariado, para este caso el análisis de varianza (ANOVA). Mediante esta técnica se pretendió determinar si las diferencias que existen entre las medias de los factores experimentales y tratamientos son estadísticamente significativas. <http://scientific-european-federation-osteopaths.org/es/prueba-estadisticas>.

El ANOVA Bifactorial se utilizó para la variable dependiente: % COAGULACIÓN, teniendo en cuenta los factores tipo de ácido (coagulante) y dosis de ácido. **Ver anexo B y Anexo C.**

Para su cálculo se hizo uso de un análisis de varianza bifactorial completamente al azar, mediante el cual se determina qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre el % de COAGULACIÓN. También evalúa la significancia de los factores e interacciones entre ellos, mediante la prueba-F en la tabla ANOVA. Las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Los Gráficos de

Residuos le ayudarán a juzgar así los datos que han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza. La ANOVA calculada se presenta en el cuadro 7.

Cuadro 7. Resumen de la variable% de coagulación para el tiempo de coagulación de **1 hora**. Análisis de varianza bifactorial.

RESUMEN	R1	R2	R3	R4	Total
<i>1 cc</i>					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	29.6	30	30	29.6	119.2
Promedio	14.8	15	15	14.8	14.9
Varianza	348.48	338	338	348.48	196.15
<i>2,5 cc</i>					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	47	44	46	47	184
Promedio	23.5	22	23	23.5	23
Varianza	684.5	648	722	684.5	391.71
<i>3,5 cc</i>					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	56.6	56.6	56	56.6	225.8
Promedio	28.3	28.3	28	28.3	28.225
Varianza	941.78	941.78	968	941.78	541.925
<i>5 cc</i>					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	70	69.3	68.3	70	277.6
Promedio	35	34.65	34.15	35	34.7
Varianza	1250	1285.245	1336.445	1250	731.80
<i>Total</i>					
Cuenta	8	8	8	8	
Suma	203.2	199.9	200.3	203.2	
Promedio	25.4	24.9875	25.0375	25.4	
Varianza	522.55	519.86	536.84	522.55	

Fuente: Esta investigación

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: porcentaje

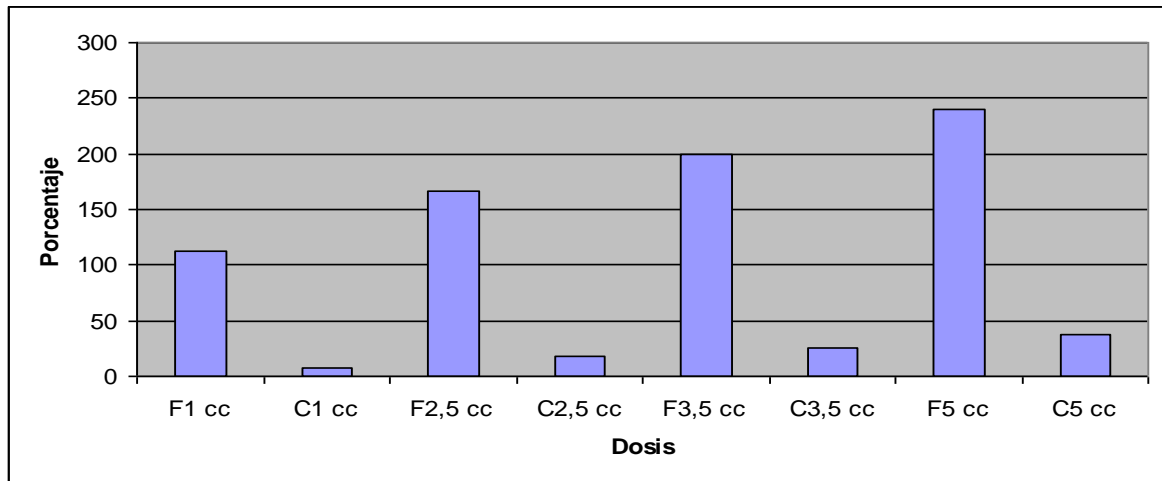
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Ácido	12379,511	1	12379,511	46641,801	,000
Dosis coagulacion	1682,644	3	560,881	2113,210	,000
ácido * dosis coagulacion	645,294	3	215,098	810,416	,000
Error	6,370	24	,265		
Total corregida	14713,819	31			

a. R cuadrado = 1,000 (R cuadrado corregida = ,999)

Fuente: Esta investigación

Este análisis de varianza resalta la predominancia del método convencional sobre el no convencional.

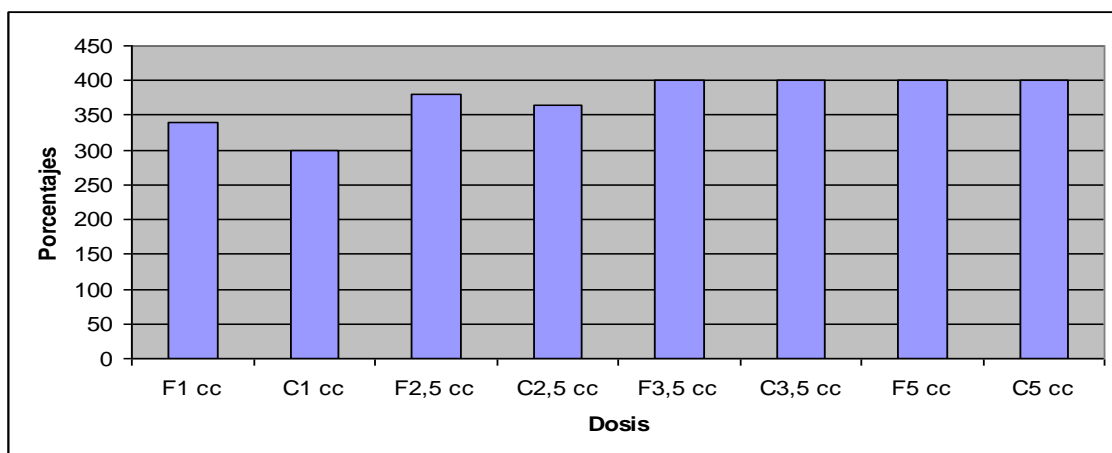
El método convencional supera de forma significativa en la coagulación al método no convencional al cabo de una hora. Por ejemplo, podemos observar que para el tiempo de 1 hora el porcentaje de coagulación de ácido fórmico oscilo entre (44.609 – 45.14) superando en más del 100 % al del ácido cítrico cuyo porcentaje oscilo entre (5.27 - 5.80.); También nos muestra que a medida que se aumentaba la cantidad de dosis de coagulante, el porcentaje de coagulación en el ácido cítrico se incrementaba lentamente, mientras que en el ácido fórmico el aumento era considerable. (**Ver figura 15**).

Figura 15. Porcentajes totales de coagulación para 1 hora

Fuente: esta investigación

Trascurridas 24 horas se observa que los niveles, tanto para el método convencional como para el no convencional, presentan porcentajes de coagulación muy similares, mostrándose en este tiempo un 100 % de coagulación (**Ver figura 16**).

Para los niveles de 3,5 y 5 cc, tanto para el ácido fórmico como para el cítrico, los porcentajes de coagulación fueron iguales, lo cual nos indica que luego de este tiempo el ácido cítrico tiene una muy buena eficiencia en la coagulación del látex de caucho.

Figura 16. Porcentajes totales de coagulación para 24 horas

Fuente: esta investigación.

La prueba de **anova para 1 hora** nos muestra que los factores metodos de coagulación y dosis de coagulación presentan diferencias significativas ya que la significancia esta por debajo de $p=0,05$.

Igualmente la interacción metodo y dosis presentan diferencia significativa, lo que sugiere que al interactuar los niveles de los dos factores por lo menos uno de los tratamientos presenta la coagulación del látex en mejor eficiencia.

Las pruebas multiples de promedios resalta que la dosis de coagulación de n4(5cc) expresa un porcentaje de eficiencia de un 34%.

El metodo que presenta mejor porcentaje de eficiencia es el formico debido a que presenta una concentración del 98%.

La anova a las **24 horas**, presenta significancia entre los factores principales y la interacción de metodos y dosis de coagulación, mediante un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

Cuadro 8. Resumen de la variable porcentaje de coagulación para tiempo de coagulación de **24 horas**. Análisis de varianza bifactorial.

RESUMEN	R1	R2	R3	R4	Total
1 cc					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	155	160	165	160	640
Promedio	77,5	80	82,5	80	80
Varianza	112,5	50	12,5	50	35,7142857143
2,5 cc					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	185	185	185	190	745
Promedio	92,5	92,5	92,5	95	93,125
Varianza	12,5	12,5	12,5	0	6,6964285714

3,5 cc					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	200	200	200	200	800
Promedio	100	100	100	100	100
Varianza	0	0	0	0	0
5 cc					
Cuenta	2	2	2	2	8
Suma	200	200	200	200	800
Promedio	100	100	100	100	100
Varianza	0	0	0	0	0
<i>Total</i>					
Cuenta	8	8	8	8	
Suma	740	745	750	750	
Promedio	92,5	93,125	93,75	93,75	
Varianza	114,28	85,26	62,5	83,92	

Fuente: Esta investigación.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: porcentaje

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Ácido	94,531	1	94,531	33,000	,000
Dosis coagulacion	2133,594	3	711,198	248,273	,000
ácido * dosis coagulacion	133,594	3	44,531	15,545	,000
Error	68,750	24	2,865		
Total corregida	2430,469	31			

a. R cuadrado = ,972 (R cuadrado corregida = ,963)

Fuente: Esta investigación

Las medias marginales estimadas para los dos metodos de coagulación registran a las 24 horas porcentajes muy similares:ácido citrico oscila entre(90,689 – 92,436) y para el fórmico (94,127 -95,873).Lo anterior debido a que a las 24 horas el aglutinamiento de las moléculas de caucho es idéntico para los dos metodos.

Las dosis que mejor eficiencia mostraron fueron las de n3(3.5 cc) y n4 (5cc). Lo anterior lo justifica a su vez la prueba múltiple de promedios y la gráfica de medias marginales estimadas.

3.3. Análisis de la Calidad de las láminas de caucho

3.3.1. Elasticidad

La elasticidad es la propiedad de los materiales de deformarse reversiblemente ante fuerzas exteriores y retomar su forma original luego de la ausencia de estas fuerzas.

Para hallar la elasticidad en las láminas de látex resultantes de los ensayos hechos, se midieron cada una de ellas aplicándoseles diferentes pesos para ver su estiramiento hasta cuando esta llegaba a su punto de rotura. (**Ver figuras 17, 18, 19 y 20** para observar el procedimiento realizado). El calibre de las láminas resultantes de los ensayos fue igual para todas: 0.15 cm.

Figura 17. Lámina de látex obtenida del proceso de coagulación del caucho con ácido cítrico



Fuente: Esta investigación

Figura 18. Visualización de la prueba de elasticidad del caucho-



Fuente: Esta investigación

Figura 19. Visualización de la prueba de elasticidad del caucho utilizando pesas diferentes.



Fuente: Esta investigación.

Figura 20. Visualización de la prueba de elasticidad de las láminas de caucho



Fuente: esta investigación

Efectuada la medición de la variable elasticidad, la información se dispuso en el cuadro 9.

Cuadro 9. Elasticidad de las láminas de látex obtenidas en los tratamientos del experimento a diferentes pesos aplicados.

Tratamientos	Variables							
	Lámina inicial: 28 x 20 cms							
	1cc		2.5cc		3.5cc		5cc	
	Largo (cms)	Peso (gramos)	Largo (cms)	Peso (gramos)	Largo (cms)	Peso (gramos)	Largo (cms)	Peso (gramos)
Ácido fórmico	30	1.000	30	1.000	31	1.000	16	500
	33	1600	36	2.000	38	2.000	20	1.000
	38	2.200	39	2.100	40	2.200	21	1.100
	43	2.600	42	2.200	43	2.300	22	1.200
	48	2.900			45	2.400	23	1.350
	56	3.300					48	2.800
Ácido cítrico	Largo (cms)	Peso (gramos)	Largo (cms)	Peso (gramos)	Largo (cms)	Peso (gramos)	Largo (cms)	Peso (gramos)
	31	1.000	36	2.000	35	2.000	33	2.000
	35	2.000	40	2.200	40	2.200	38	2.200
	36	2.300	45	2.300	42	2.300	43	2.400
					50	2.400	50	2.500
							60	2.600
							71	2.700

Fuente: Esta investigación

En el cuadro 9 la última medida de las columnas correspondientes a los largos de la lámina, indica el valor hasta el cual estas soportaron el peso y se produjo la rotura del material. Las láminas obtenidas en cada uno de los tratamientos se sometieron a la acción de diferentes pesos que oscilan entre los 1.000 gramos y los 3.300 gramos. Para el caso del ácido fórmico el punto de quiebre de mayor longitud fue el ocurrido al aplicar 3.300 gramos de peso a la lámina obtenida con el tratamiento de 1 cc de ácido fórmico, tal como se ilustra en el cuadro 10.

Para el tratamiento con ácido cítrico el punto de quiebre de mayor longitud fue el ocurrido con el tratamiento de 5 cc de ácido cítrico y un peso aplicado de 2.700 gramos.

Cuadro 10. Punto de quiebre de las láminas de caucho según tipo de ácido utilizado como coagulante

COAGULANTE/ Nivel de coagulante	1cc		2.5cc		3.5cc		5cc	
	P.quiebre (cms)	Peso (gramos)	P.quiebre (cms)	Peso (gramos)	P.quiebre (cms)	Peso (gramos)	P.quiebre (cms)	Peso (gramos)
Ácido fórmico	56	3.300	42	2.200	45	2.400	48	2.800
Ácidocítrico	36	2.300	45	2.300	50	2.400	71	2.700

Fuente: Esta investigación

La elasticidad de cada una de las láminas se presenta en el **cuadro 11**.

Cuadro 11. Elasticidad de las láminas de caucho según tipo y nivel de coagulante.

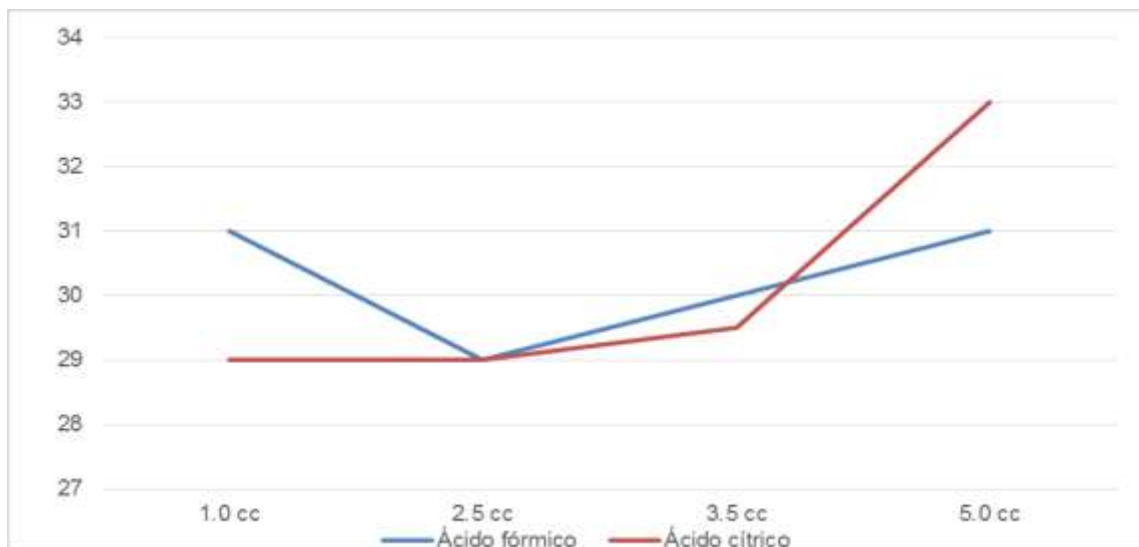
COAGULANTE / Nivel de coagulante	Elasticidad (cms)			
	1cc	2.5cc	3.5cc	5cc
Ácido fórmico	31	29	30	31
Ácidocítrico	29	29	29,5	33

Fuente: Esta investigación

El cuadro 10 muestra que los niveles de coagulante aplicados al latex bien con ácido fórmico o ácido cítrico producen láminas con una elasticidad muy similar.

La lámina que más elasticidad mostró al final del proceso fue la trabajada con ácido cítrico en un nivel de 5 cc, tal como se visualiza en la figura 21.

Figura 21. Elasticidad de las láminas de caucho según tipo y nivel de coagulante.



Fuente: Esta investigación.

3.4. Análisis económico de los dos métodos de coagulación estudiados con el propósito de precisar cuál de los tratamientos (coagulante y nivel), ofrece las mejores ventajas desde el punto de vista económico

Cuadro 12. Análisis económico del experimento de tipo y nivel de ácido empleado en el proceso de coagulación del látex del caucho

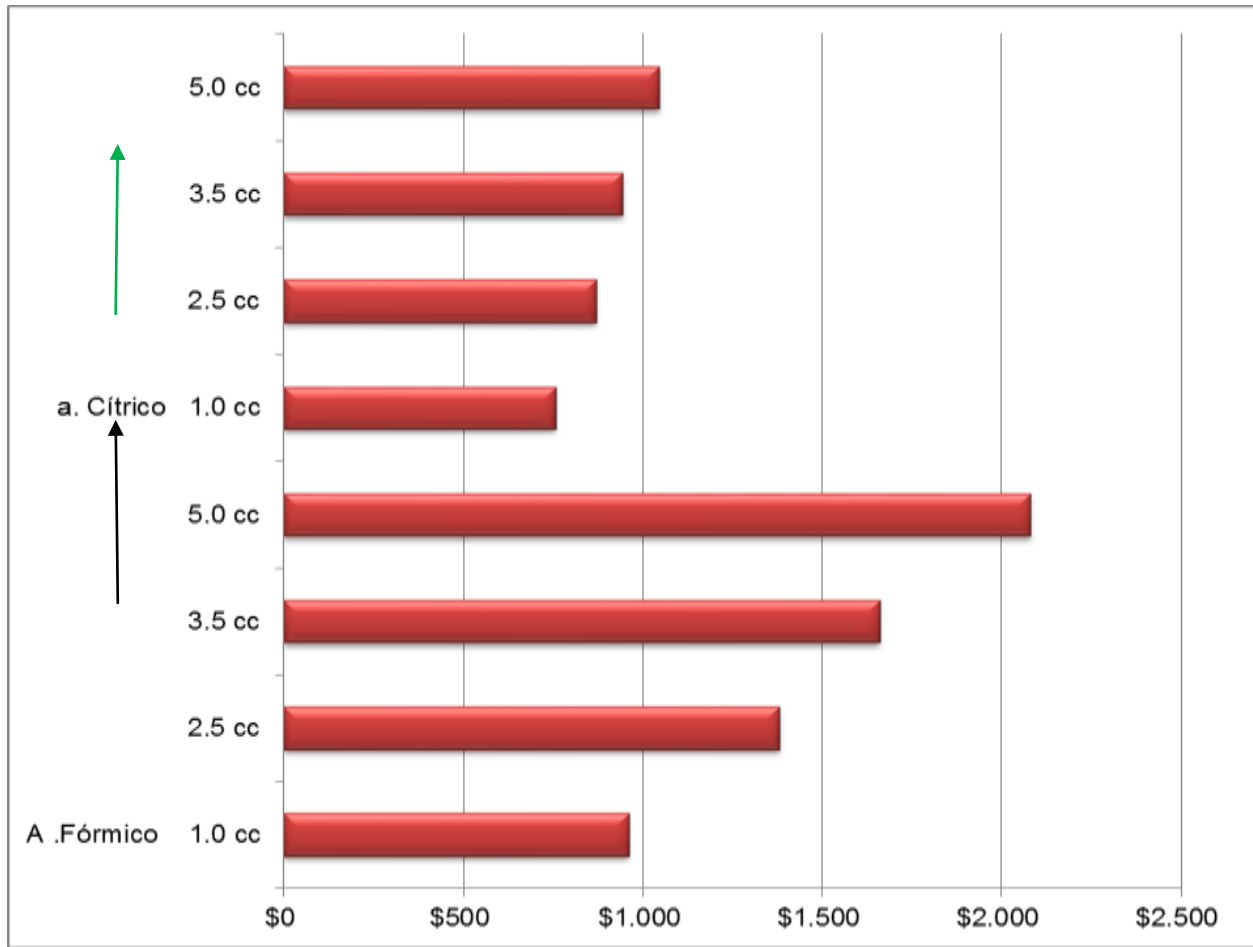
TRATAMIENTO	Coagulante (Ácido – nivel)	Costo coagulante	Látex	Costo látex	Otros insumos	Costo otros insumos	Costo Total
fn ₁	A .Fórmico 1.0 cc	\$ 280	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$ 960
fn ₂	2.5 cc	\$ 700	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$1.380
fn ₃	3.5 cc	\$ 980	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$1.660
fn ₄	5.0 cc	\$ 1.400	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$ 2.080
cn ₁	A. Cítrico 1.0 cc	\$ 75	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$ 755
cn ₂	2.5 cc	\$ 188	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$ 868
cn ₃	3.5 cc	\$ 263	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$ 943
cn ₄	5.0 cc	\$ 375	150 cc	\$ 300	Bandeja + agua	\$ 380	\$ 1.045

Fuente: Esta investigación

El análisis económico presentado en el cuadro 12 muestra que de los tratamientos aplicados el de mayor costo fue el del ácido fórmico con un nivel de 5cc con un valor de \$2.080 y el de menor costo el del tratamiento aplicado con ácido cítrico en un nivel de 1cc y un costo de \$75 .

Asimismo, el trabajo con el ácido fórmico requiere de equipos especializados de seguridad personal, sin los cuales el riesgo de accidentes es alto. Con el ácido cítrico, por el contrario, no se requieren de estos equipos.

Figura 22. Comparación de los costos totales de los tratamientos con los métodos convencional y no convencional en la coagulación del látex de caucho



Fuente: Esta investigación

En la figura 22 se observa que el método no convencional de coagulación (ácido cítrico) resulta más económico en relación con el método convencional, por lo tanto el primero resulta más atractivo para el heveicultor desde el punto de vista de costos.

3.5. Estrategia para la difusión e implementación del mejor método

Objetivos: estrategia diseñada para llevar a cabo una difusión del método de coagulación utilizando el ácido cítrico implica los siguientes elementos:

- Difundir e implementar los resultados obtenidos en esta investigación.
- Divulgar las ventajas del método no convencional en materia de bajos costos, baja contaminación del medio ambiente y fácil manipulación sin riesgos de accidentes.
- Capacitar a los heveicultores para la aplicación del método no convencional
- Concienciar a los heveicultores sobre la importancia del uso del método no convencional para mejorar su calidad de vida, su entorno y las posibilidades de futuras generaciones.

Tácticas:

Táctica 1: Divulgación de resultados de esta investigación en el ámbito global

Acción 1: Elaboración de una bitácora web dirigida a la divulgación de esta investigación y sus resultados.

Acción 2: Compartir esta investigación y sus resultados en portales académicos para facilitar la interacción con pares.

Acción 3: Realización de un paper con esta investigación y sus resultados dirigido a publicarse en revista científica indexada.

Táctica 2: Divulgación de resultados de esta investigación hacia la comunidad de heveicultores

Acción 1: Elaboración de un folleto explicativo con el procedimiento y las principales conclusiones de la utilización del ácido cítrico como coagulante-

Acción 2: Reuniones informativas con asociaciones y grupos de heveicultores para socializar los resultados de la investigación.

Táctica 3: Sensibilización sobre el método no convencional dirigida a heveicultores.

Acción 1: Reuniones informativas con asociaciones y grupos de heveicultores para mostrarles las ventajas del método no convencional y concienciarlos sobre su importancia en materia de seguridad, sustentabilidad y medio ambiente.

Acción 2: Llevar a cabo un seminario dirigido a capacitar a los heveicultores para la implementación del método no convencional.

Acción 3: Realizar seguimiento y acompañamiento a los heveicultores en la implementación del método no convencional.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

- La coagulación del látex de caucho en nuestro país se realiza con aglutinantes como los ácidos fórmico y acético, los cuales al eliminarse con el lavado pasan a ser contaminantes de los espejos de agua así como del suelo, afectando flora y fauna.
- El desarrollo de la actividad cauchera en Colombia se encuentra en manos de empresas privadas y asociaciones regionales, haciéndose necesario políticas gubernamentales más concordantes con el cultivo de caucho.
- La coagulación del látex de caucho con ácido fórmico es más rápida.
- El ácido fórmico tiene un costo mucho más elevado en el mercado que el del ácido cítrico
- Las láminas resultantes de la utilización de los dos tipos de ácidos son de excelente calidad.
- El tratamiento con 5 cc de ácido cítrico arrojó el mejor resultado en cuanto a elongación, y la elasticidad de caucho, de acuerdo con las pruebas físicas realizadas.

- La coagulación del látex del *Hevea Brasiliensis* utilizando ácido cítrico genera como resultado un producto excelente con baja contaminación del ambiente por su uso.
- El ácido cítrico es un producto de bajo precio, lo que favorece el costo del proceso de coagulación.
- La investigación nacional acerca del beneficio del látex por parte de centros de investigación y universidades es muy escasa.
- El ácido cítrico por ser una fuente natural y de fácil consecución en nuestro medio es económicamente más rentable que los ácidos convencionales.
- El uso de los productos no convencionales (ácido cítrico) permite una fácil manipulación sin riesgos de accidentes.
- El uso de los coagulantes convencionales requiere de los elementos de protección personal (gafas, guantes de hule, mascarilla, overol y botas de caucho) a fin de evitar accidentes por lo fuerte y peligroso del producto.

4.2. Recomendaciones

- Es importante buscar alternativas que en el proceso de beneficio sean más benévolas con nuestro medio ambiente, permitiéndonos ser competitivos pero a la vez sostenibles con nuestro entorno, con miras a una mejor calidad de vida de nuestras generaciones futuras
- Incentivar el cultivo de los cítricos en mención por ser una materia prima benévola con el medio ambiente en el proceso de coagulación del látex del caucho.

-
- Estudiar otras fuentes de ácido cítrico en los procesos de coagulación del látex del caucho
 - A partir de la estrategia de difusión e implementación, por tratarse de un método no convencional y novedoso el propuesto en esta investigación, se hace necesario iniciar transferencia de tecnología con grupos de heveicultores e instituciones
 - Es necesario que se continúen probando otras fuentes orgánicas a fin de mantener diversidad de coagulantes a bajo costo.

Anexos

Anexo A

Glosario

Ácido cítrico: El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbóxico que está presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja. Su fórmula química es $C_6H_8O_7$.

Ácido fórmico: El ácido Metanóico, también llamado ácido fórmico, es un ácido orgánico de un solo átomo de carbono, y por lo tanto el más simple de los ácidos orgánicos. Su fórmula es $H-COOH$.

Coagulación: Proceso por el cual el látex es desestabilizado y se provoca una agregación o aglomeración de la fase dispersa, separándose del medio de dispersión.

Coagulante: Sustancia química que agregada al sistema coloidal al entrar en contacto con el mismo provoca su coagulación.

Elasticidad: En física el término elasticidad designa la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan.

Látex natural: Es el producto de una sangría efectuada en el árbol de caucho (*Hevea Brasiliensis*), posteriormente concentrado por los métodos de centrifugado, cremado, evaporación.

Látex: El látex natural es una suspensión acuosa coloidal compuesta de grasas, ceras y diversas resinas gomosas obtenida a partir del citoplasma de las células laticíferas presentes en algunas plantas angiospermas y hongos. Es frecuentemente blanco, aunque también puede presentar tonos anaranjados,

rojizos o amarillentos dependiendo de la especie, y de apariencia lechosa. El látex es el material más elástico conocido. La mayor parte del látex de empleo comercial se extrae de la siringa (*Hevea Brasiliensis*) y es dedicado a la obtención de caucho.

Limón Tahití: También conocido como limón persa, es de origen desconocido. Se considera un híbrido entre la lima mexicana y la sidra puesto que las flores están desprovistas de granos de polen u óvulos viables y los frutos son partenocárpicos.

Anexo B

PRUEBA DE ANOVA.(1 HORA)

		n
ácido	c	16
	f	16
Dosis coagulacion	n1	8
	n2	8
	n3	8
	n4	8

Fuente: Esta investigación

Medias marginales estimadas

1. ácido

Variable dependiente: porcentaje

ácido	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
c	5,538	,129	5,272	5,803
f	44,875	,129	44,609	45,141

Fuente: Esta investigación

2. dosis coagulacion

Variable dependiente: porcentaje

Dosis coagulacion	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
n1	14,900	,182	14,524	15,276
n2	23,000	,182	22,624	23,376
n3	28,225	,182	27,849	28,601
n4	34,700	,182	34,324	35,076

Fuente: Esta investigación

3. ácido * dosis coagulación

Variable dependiente: porcentaje

ácido	Dosis coagulación	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
c	n1	1,800	,258	1,268	2,332
	n2	4,500	,258	3,968	5,032
	n3	6,450	,258	5,918	6,982
	n4	9,400	,258	8,868	9,932
f	n1	28,000	,258	27,468	28,532
	n2	41,500	,258	40,968	42,032
	n3	50,000	,258	49,468	50,532
	n4	60,000	,258	59,468	60,532

Fuente: Esta investigación

Pruebas post hoc

Dosis coagulación

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: porcentaje

DHS de Tukey

(I)dosis coagulación	(J)dosis coagulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
n1	n2	-8.1000*	.25759	,000	-8.8106	-7.3894
	n3	-13.3250*	.25759	,000	-14.0356	-12.6144
	n4	-19.8000*	.25759	,000	-20.5106	-19.0894
n2	n1	8.1000*	.25759	,000	7.3894	8.8106
	n3	-5.2250*	.25759	,000	-5.9356	-4.5144
	n4	-11.7000*	.25759	,000	-12.4106	-10.9894
n3	n1	13.3250*	.25759	,000	12.6144	14.0356
	n2	5.2250*	.25759	,000	4.5144	5.9356
	n4	-6.4750*	.25759	,000	-7.1856	-5.7644
n4	n1	19.8000*	.25759	,000	19.0894	20.5106
	n2	11.7000*	.25759	,000	10.9894	12.4106
	n3	6.4750*	.25759	,000	5.7644	7.1856

Fuente: Esta investigación

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,265.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

Subconjuntos homogéneos

porcentaje

DHS de Tukeya,b

Dosis coagulacion	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
n1	8	14.9000			
n2	8		23.0000		
n3	8			28.2250	
n4	8				34.7000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

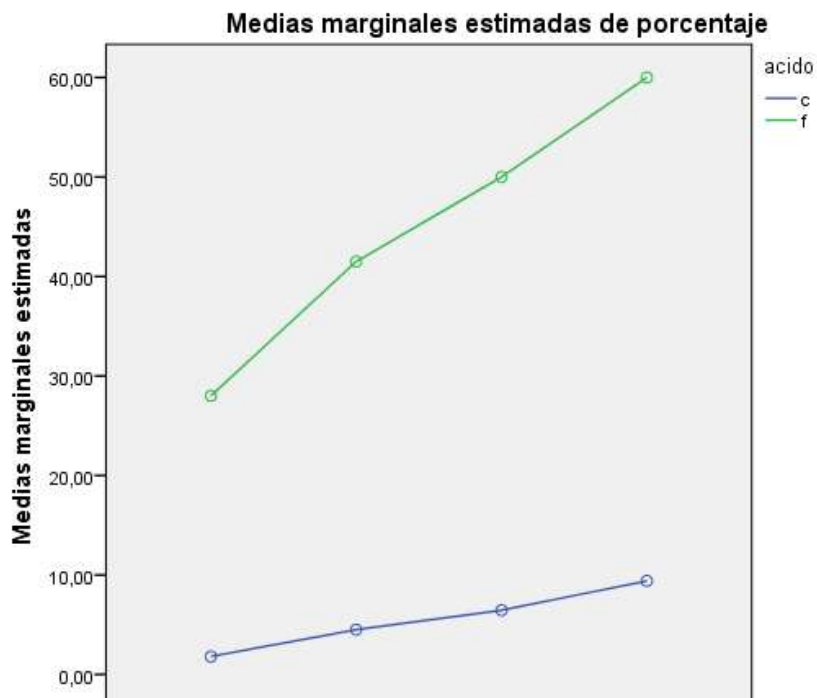
El término de error es la media cuadrática (Error) = ,265.

a. Usa el tamaño muestra de la media armónica = 8,000

b. Alfa = ,05.

Fuente: Esta investigación

Gráficos de perfil



Fuente: Esta investigación

Anexo C

PRUEBA DE ANOVA (24 HORAS)

		n
ácido	c	16
	f	16
Dosis coagulacion	n1	8
	n2	8
	n3	8
	n4	8

Fuente: Esta investigación

Medias marginales estimadas

1. ácido

Variable dependiente: porcentaje

ácido	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
c	91,563	,423	90,689	92,436
	95,000	,423	94,127	95,873
f				

Fuente: Esta investigación

2. dosis coagulacion

Variable dependiente: porcentaje

Dosis coagulacion	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
n1	80,000	,598	78,765	81,235
n2	93,125	,598	91,890	94,360
n3	100,000	,598	98,765	101,235
n4	100,000	,598	98,765	101,235

Fuente: Esta investigación

3. ácido * dosis coagulacion

Variable dependiente: porcentaje

ácido	Dosis coagulacion	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
c	n1	75,000	,846	73,253	76,747
	n2	91,250	,846	89,503	92,997
	n3	100,000	,846	98,253	101,747
	n4	100,000	,846	98,253	101,747
f	n1	85,000	,846	83,253	86,747
	n2	95,000	,846	93,253	96,747
	n3	100,000	,846	98,253	101,747
	n4	100,000	,846	98,253	101,747

Fuente: Esta investigación

Pruebas post hoc

Dosis coagulación

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: porcentaje

DHS de Tukey

(I)dosis coagulación	(J)dosis coagulación	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
n1	n2	-13.1250	.84625	,000	-15.4595	-10.7905
	n3	-20.0000	.84625	,000	-22.3345	-17.6655
	n4	-20.0000	.84625	,000	-22.3345	-17.6655
n2	n1	13.1250	.84625	,000	10.7905	15.4595
	n3	-6.8750	.84625	,000	-9.2095	-4.5405
	n4	-6.8750	.84625	,000	-9.2095	-4.5405
n3	n1	20.0000	.84625	,000	17.6655	22.3345
	n2	6.8750	.84625	,000	4.5405	9.2095
	n4	.0000	.84625	1,000	-2.3345	2.3345
n4	n1	20.0000	.84625	,000	17.6655	22.3345
	n2	6.8750	.84625	,000	4.5405	9.2095
	n3	.0000	.84625	1,000	-2.3345	2.3345

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,865.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel ,05.

Fuente: Esta investigación

Subconjuntos homogéneos

porcentaje

DHS de Tukey^{a,b}

dosiscoagulacion	N	Subconjunto		
		1	2	3
n1	8	80.0000		
n2	8		93.1250	
n3	8			100.0000
n4	8			100.0000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se muestran las medias de los grupos de subconjuntos homogéneos.

Basadas en las medias observadas.

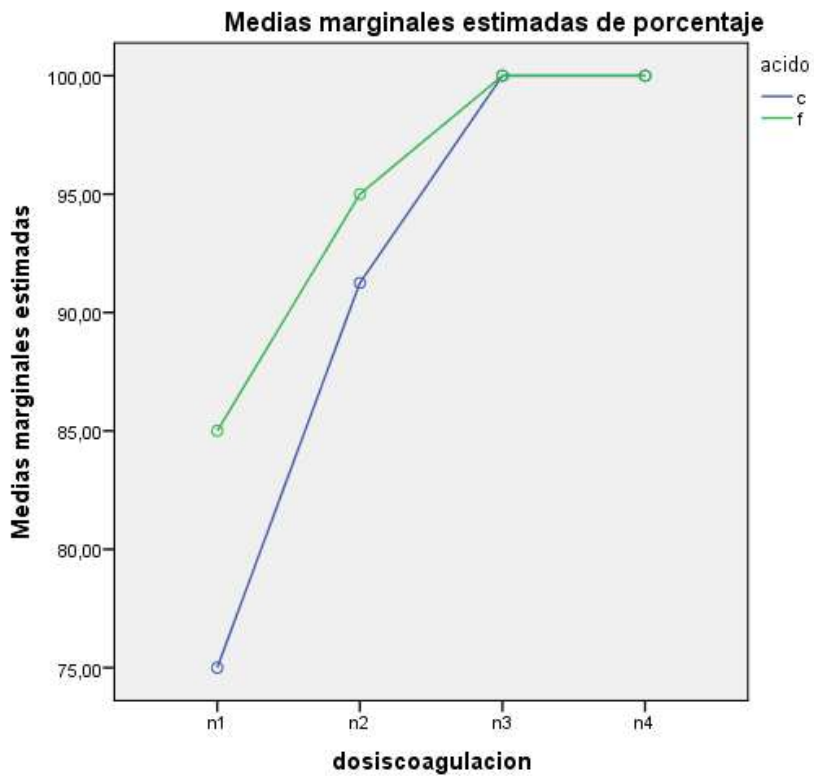
El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,865.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 8,000

b. Alfa = ,05.

Fuente: Esta investigación

Gráficos de perfil



Fuente: Esta investigación

Bibliografía

ANACAFÉ. (2004) *Cultivo de hule*. Recuperado de <http://portal.anacafe.org/Portal/Documents/Documents/2004-12/33/8/Cultivo%20de%20Hule.pdf>

BERTHIER, A. (2012). Coagulación biológica del Látex con ácido cítrico natural. Recuperado de www.slideshare.net/oalzate75/de-la-idea-al-producto-14310320

CAMARGO, Z. y RAMOS, Y. (2012). *Evaluación de tres fuentes naturales de ácido cítrico en la coagulación del látex de caucho (Hevea Brasiliensis)*. Barrancabermeja: Universidad de la Paz.

CAUCHO NATURAL. (2012). *Indupalma invertirá \$300.000 millones en proyecto de caucho en el Vichada*. Recuperado de http://cauchonatural-latam.blogspot.com/2012_03_01_archive.html

CODESARROLLO. (Sin fecha). *El caucho*. Recuperado de www.codesarrollo.org.co/.../caucho/.../

COMPAGNON, P. (1998). *El caucho natural, biología, cultivo, producción*. Tabasco: Ed. en español Consejo Mexicano de Hule y CIRAD. Imprenta Electrónica Xerx.

CONIF (1997). *Avances Investigativos en caucho*. Bogotá. Serie Técnica Vol. No 37.

CORPOICA. (Sin fecha). *500 preguntas sobre caucho*. Recuperado de <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Libros500/Cartilla500PreguntasSobreCaucho1.pdf>

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (2009). *Metodología del Censo de Unidades Productoras de Plantaciones de Caucho – UPPC, en Once Municipios de Antioquia y Tres Municipios de Córdoba 2009*. Recuperado de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/Metodologia_caucho.pdf

FAUSTINO, NUMA, MARTÍN (Sin fecha). El proceso de manejo de las fuentes de información estadística. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos94/proeso-manejo-fuentes-informacion-estadistica/proeso-manejo-fuentes-informacion-estadistica.shtml>

FEDERACIÓN NACIONAL DE PRODUCTORES DE CAUCHO NATURAL. (2005). *Caucho Natural. Módulos Técnicos*. Bogotá: FedECAUCHO.

FINAGRO. (Sin fecha). *Fertilización*. Recuperado de www.finagro.com.co/html/cache/HTML/SIS/.../fertilizacion.pdf

HAIKU FUTÓN. (2010). *Látex natural, propiedades y características*. Recuperado de <http://www.haiku-futon.com/2010/06/propiedades-y-caracteristicas-del-latex-natural/>

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (1999). *Importancia de la nutrición en el cultivo de caucho*. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/904DA389B4646BB4852579A3007A26EB/\\$FILE/Importancia%20de%20la%20Nutrici%C3%B3n.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/904DA389B4646BB4852579A3007A26EB/$FILE/Importancia%20de%20la%20Nutrici%C3%B3n.pdf)

MARTÍNEZ GARNICA, A. y GARCÍA RUBIO, F. (2006). *Investigaciones en el cultivo del caucho en la Orinoquía y norte amazónico. Boletín de investigación No. 4.*Corpoica-Pronatta.

MESA SECTORIAL DEL CAUCHO. (2006). *Caracterización ocupacional del sector del caucho natural en Colombia.* Bogotá: Mesa sectorial del caucho.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2005). *Documento de trabajo 63. La cadena del caucho en Colombia.* Recuperado de http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/200511215190_caracterizacion_ca_ucho.pdf

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2009) *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia.* Recuperado de www.minagricultura.gov.co/02componentes/06com_01b_cadenas.aspx

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2009). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de caucho natural y su industria en Colombia.* Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

MINISTERIO DE AMBIENTE. (Sin fecha). *Guía ambiental para producción de caucho natural.* Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosBiodiversidad/proyectos_norma/proyectos/111010_proy_guia_amb_caucho_151010.pdf

PROCAUCHO S.A. (1998). *Proyecto de Siembra de Caucho en el Magdalena Medio.* Bucaramanga: Procaucho.

PRONATTA, ASOHECA. (1998). *Aprovechamiento del cultivo y beneficio del látex del caucho natural.* Recuperado de

http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/20061127144217_Aprovechamiento%20cultivo%20y%20beneficio%20latex%20caucho.pdf

RINCÓN SEPÚLVEDA, O. (1996). *Manual para el cultivo del caucho*. Bogotá: Corporación para la Diversidad del Ingreso Cafetero.

SAMPIETRO, G.; RESCIA, L. (Sin fecha). *El caucho*. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos4/el-caucho/elcaucho.shtml>

SCIENTIFIC EUROPEAN FEDERATION OF OSTEOPATHS (Sin fecha). Recuperado de <http://scientific-european-federation-osteopaths.org/es/prueba-estadisticas>

TAMAYO, M. (2001). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.

TORRES ARANGO, C.H. (1999). *Manual para el cultivo del caucho en la Amazonía*. Universidad de la Amazonía. Plan nacional de desarrollo alternativo. Florencia: Centro de Multimedia de Uniamazonía.

UNA MANERA DIFERENTE DE CULTIVAR. (2008). *Sistemas de siembra de caucho natural*. Recuperado de <http://emilseagro.blogspot.com/>