

Formulación de una emulsión de poliestireno expandido post-consumo con aplicaciones industriales

Cindy Vanessa Gutiérrez Estupiñán

Trabajo de grado para optar por el título de Química

Director

Jose Carlos Gutiérrez Gallego

M.Sc.

Co-directora

Melba J. Sánchez Soledad

M.Sc.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Química

Bucaramanga

2018

DEDICATORIA

A todos los seres humanos que han superado el miedo
y han decidido salir de su zona de confort
para convertirse en ‘elementos fuera de orden’
que luchan colectiva e individualmente,
siempre dispuestos a dar su propia vida,
para hacer del mundo (de todas las especies)
un lugar donde vivir no duela más que la muerte.



AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que me enseñaron las lecciones más valiosas por fuera del aula de clase y me llevaron a descubrir que el sentido de la vida sólo se encuentra en la transformación de la ~~cochina~~ realidad;

A mi familia por la paciencia y el aguante, así no entendieran mis razones.

Al profe Jose Carlos no sólo por dirigir este proyecto, sino por ser un ejemplo de resistencia, perseverancia, nobleza y genialidad. Profesores de química hay muchos pero como usted, ninguno! Gracias por los consejos, la preocupación y la solidaridad con los gaticos de la u.

A 'mis' chandosos por la compañía. Prometo aprovechar este cartón para pagar un rinconcito y llevarlos conmigo;



Figura 0. Chris y Charlie en estado basal en el laboratorio mientras intento desesperadamente terminar la tesis.

A Pauline por ser el catalizador para terminar esto;

A Melba por los consejos, el apoyo y las correcciones;

Al Cenivam y especialmente a la profe Elena por aportar el aceite esencial usado en este proyecto. Gracias profe por la confianza en todos estos años, por las discusiones políticas y las lecciones académicas y disculpe otra vez por haber terminado haciendo la tesis en otro lado.

A mis amig@s y compañer@s que ya se fueron o que aún están, con quienes aprendimos mutuamente y dimos lata tantas veces. *No somos cinco gatos, ni todo esto fue sólo una etapa de nuestras vidas. Nos veremos en el camino...*

CONTENIDO

Introducción	16
Objetivos	18
1. Marco de referencia	19
1.1 Antecedentes	19
1.2 Marco referencial	22
1.2.1 Poliestireno expandido.....	22
1.2.1.1 Características y usos.....	23
1.2.1.2 Reciclaje del poliestireno expandido.. ..	23
1.2.2 Solventes.....	24
1.2.2.1 Acetato de amilo.. ..	25
1.2.2.2 Aceite esencial de naranja.....	26
1.2.3 Emulsiones.....	27
1.2.4 Cascarilla de arroz.. ..	29
1.2.5 Pinturas.. ..	30
2. Metodología.....	31
2.1 Etapa Preliminar.....	31
2.1.1 Poliestireno expandido.....	31
2.1.2 Solventes.....	32
2.1.3 Selección de tensoactivo y coloide protector.....	32
2.1.4 Cascarilla de arroz.. ..	33
2.2 Caracterización de materiales	34
2.2.1 Caracterización del aceite esencial y cuantificación de d-limoneno.. ..	34
2.2.2 Análisis de espectrometría infrarroja.....	34
2.3 Selección de solventes.....	34
2.4 Obtención de las emulsiones	35
2.5 Caracterización de las emulsiones	35
2.5.1 Clasificación de emulsiones por microscopía óptica.....	35

2.5.2 Solubilidad de emulsiones	36
2.6 Búsqueda de aplicaciones funcionales	36
2.6.1 Aglomerados de cascarilla de arroz.....	36
2.6.2 Pinturas.....	37
2.7 Caracterización de productos	37
2.7.1 Aglomerados	37
2.7.1.1 Clasificación de emulsiones por microscopía óptica.....	37
2.7.1.2 Resistencia a agentes químicos.....	37
2.7.1.3 Resistencia a agentes bióticos.....	37
2.7.1.4 Inflamabilidad.....	38
2.7.1.5 Propiedades mecánicas.....	38
2.7.1.5.1 Dureza.....	38
2.7.1.5.2 Resistencia a la compresión.....	38
2.7.2 Pinturas	39
2.7.2.1 Pinturas con colorantes.....	39
2.7.2.2 Pinturas con pigmentos.....	39
2.8 Conclusiones y divulgación de resultados	39
3. Análisis y resultados.....	40
3.1 Caracterización de materiales	40
3.1.1 Análisis de espectros infrarrojo.....	40
3.1.2 Análisis cromatográfico del aceite esencial de naranja.....	40
3.2 Selección de solventes.....	41
3.3 Obtención de las emulsiones.....	43
3.4 Caracterización de emulsiones.....	44
3.4.1 Clasificación de emulsiones por microscopía óptica.....	44
3.4.2 Solubilidad de emulsiones.....	47
3.5 Búsqueda de aplicaciones funcionales	49
3.5.1 Aglomerados de cascarilla de arroz.....	49
3.5.2 Pinturas.....	50
3.6 Caracterización de productos	53

3.6.1 Aglomerados	53
3.6.1.1 Micrografías	53
3.6.1.2 Resistencia a agentes químicos	54
3.6.1.3 Resistencia a agentes bióticos	55
3.6.1.4 Inflamabilidad	56
3.6.1.5 Propiedades Mecánicas..	58
3.6.2 Pinturas	66
3.6.2.1 Pinturas con colorantes..	66
3.6.2.2 Pinturas con pigmentos	70
4. Conclusiones.....	71
5. Recomendaciones	72
Referencias bibliográficas	73
Apéndices	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comportamiento del EPS ante distintos solventes.	25
Tabla 2. Nombre del compuesto y su porcentaje de composición en el aceite esencial	41
Tabla 3. Ensayos preliminares de solubilidad de EPS en solventes comunes.	42
Tabla 4. Condiciones y componentes de las emulsiones de acetato de amilo y aceite esencial de naranja.	44
Tabla 5. Solubilidad de cada colorante en diferentes solventes.	51
Tabla 6. Formulaci3n de pinturas diluidas y concentradas	53
Tabla 7. Condiciones de conformado y obtenci3n de aglomerados (acetato de amilo).....	59
Tabla 8. Propiedades mec3nicas de aglomerados con emulsi3n acetato de amilo.....	60
Tabla 9. Condiciones de conformado y obtenci3n de aglomerados (aceite esencial de naranja) .	63
Tabla 10. Propiedades mec3nicas de aglomerados con emulsi3n de aceite esencial de naranja...	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico comparativo entre las publicaciones relacionadas con el EPS y su reciclaje ..	19
Figura 2. Representación del poliestireno.....	23
Figura 3. Código de reciclaje para el poliestireno (reciclable).	24
Figura 4. Estructura del acetato de amilo.....	26
Figura 5. Estructura del d-limoneno.....	26
Figura 6. Esquema de los tipos de emulsiones.....	27
Figura 7. Estructura del emulsionante entre las fases.	28
Figura 8. Papel del emulsificante o tensoactivo en la emulsión.....	29
Figura 9. Poliestireno Expandido (EPS).	32
Figura 10. Acetato de amilo y Aceite esencial de naranja.	32
Figura 11. Nonilfenol comercial y carboximetilcelulosa.	33
Figura 12. Cascarilla de arroz tamizada en malla No. 40.	33
Figura 13. Microscopio digital completo, marca Hirox (KH 7700).....	36
Figura 14. Durómetro Shore D y cálculo de dureza en una probeta usando el durómetro.	38
Figura 15. Equipo de ensayos universales donde se realizó la resistencia a la compresión.	38
Figura 16. Molino de bolas marca Minutem MLW	39
Figura 17. Secuencia del EPS disolviéndose	42
Figura 18. Aspecto de una emulsión de acetato de amilo/EPS.	43
Figura 19. Micrografía (4200X) donde se observa una de las micelas de la emulsión AA1.	44
Figura 20. Micrografía 700X donde se observa el diámetro de distintas micelas de la emulsión AA1 de acetato de amilo/EPS	45
Figura 21. Micrografía (700X) donde se observa el diámetro de distintas micelas de la emulsión AE1 de aceite esencial/EPS.....	45
Figura 22. Micrografías (1400X) de las emulsiones con un marcadores.....	47
Figura 23. Vista de una emulsión normal y de la emulsión AA1 después de agregar agua.	48
Figura 24. Vista de una emulsión normal y de la emulsión AE1 después de agregar agua.	48
Figura 25. Comparación entre un aglomerado con proporción 1:1 de emulsión/cascarilla y otro aglomerado con proporción 3:1.....	49
Figura 26. Algunas probetas de aglomerados con diferente forma.....	50

Figura 27. Prueba de solubilidad en acetato de amilo y aceite esencial para cada colorante	50
Figura 28. Colorantes disueltos en emulsiones	51
Figura 29. Elaboración de pintura verde con colorantes amarillo y azul a la grasa.	52
Figura 30. Micrografía (70X) de una probeta de aglomerado cilíndrico.	53
Figura 31. Micrografía (70X) de un aglomerado con restos de radiografía (desmoldante).	54
Figura 32. Pruebas de resistencia a agentes químicos.	54
Figura 33. Aglomerados de aceite esencial (AE) y acetato de amilo (AA) después de 30 días de sometimiento a la intemperie.	55
Figura 34. Secuencia de inflamación del EPS.	56
Figura 35. Secuencia de inflamación de la cascarilla de arroz.	56
Figura 36. Inflamación del acetato de amilo y el aceite esencial de naranja.	57
Figura 37. Inflamación de las emulsiones.	57
Figura 38. Prueba de inflamación para aglomerado a base de emulsión de acetato de amilo.	58
Figura 39. Prueba de inflamación para aglomerado (aceite esencial de naranja)	58
Figura 40. Curva esfuerzo-deformación para aglomerados obtenidos con emulsión de acetato de amilo.	62
Figura 41. Curva esfuerzo-deformación para aglomerados obtenidos con emulsión de aceite esencial de naranja.	65
Figura 42. Prueba de pinturas en superficie de vidrio.	66
Figura 43. Prueba de pinturas en pared blanca.	67
Figura 44. Prueba de pinturas en madera.	68
Figura 45. Aplicación de pinturas sobre ladrillo.	68
Figura 46. Aplicación de pinturas sobre papel bond.	69
Figura 47. Aplicación de pinturas sobre metal.	69
Figura 48. Pinturas con pigmentos rojo y verde aplicados en distintas superficies.	70

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A: Ficha técnica del acetato de amilo	80
Apéndice B: Análisis de espectros infrarrojo de materiales	81
Apéndice C: Cromatograma del aceite esencial de naranja (Citrus Sinensis).....	87
Apéndice D: Ficha técnica del colorante azul brillante de tipo liófilo.	88
Apéndice E: Ficha técnica del colorante azul de tipo liófilo.	89
Apéndice F: Especificaciones técnicas para otros colorantes usados.	90
Apéndice G: Características de preparación de los aglomerados.....	93
Apéndice H: Pinturas con colorantes hidrófilos sobre papel bond y papel plastificado.	94
Pinturas con colorantes hidrófobos sobre papel bond y papel plastificado.....	95

RESUMEN

TÍTULO: Formulación de una emulsión de poliestireno expandido con aplicaciones industriales*

AUTORA: Cindy Gutiérrez Estupiñán**

PALABRAS CLAVE: Poliestireno expandido, reciclaje químico, icopor, Citrus Sinensis, acetato de amilo, madera plástica, pintura ecológica.

DESCRIPCIÓN: El poliestireno expandido es uno de los polímeros más producidos en el mundo y con mayor dificultad para ser reciclado por el gran volumen que ocupa, haciendo que sea un proceso poco rentable y se convierta en un desecho muy difícil de biodegradar.

En este trabajo de investigación se formularon dos emulsiones a partir de disoluciones saturadas de poliestireno expandido, usando como solventes acetato de amilo y aceite esencial de naranja (Citrus Sinensis) y como tensoactivo y estabilizante se agregó una solución de nonilfenol y carboximetilcelulosa. Para cada emulsión se realizó una caracterización por microscopía óptica, aplicando un marcador liófilo y otro liófilo para observar el efecto sobre las micelas y la fase continua de las emulsiones, llevando a la conclusión de que ambas son emulsiones de tipo W/O.

Como posibles aplicaciones industriales, fue posible obtener aglomerados con cascarilla de arroz para los cuales se encontró que los factores de presión, temperatura, carga y cantidad de emulsión afectaron el producto final. Se realizó una caracterización con ensayos de dureza, resistencia a la compresión, resistencia a agentes bióticos, a agentes químicos e inflamabilidad, permitiendo llegar a la conclusión de que los aglomerados pueden alcanzar una dureza de 65 (durómetro Shore tipo D), resistir una compresión de 10 MPa, presentar un buen desempeño en la intemperie y en la presencia de una llama por ser autoextinguibles e ignífugos, convirtiéndose en productos promisorios para reemplazar los aglomerados de madera en ciertos usos. A su vez, a partir de cada emulsión se obtuvo una formulación preliminar de pinturas usando colorantes y pigmentos con gran potencial para usar sobre papel, madera, paredes, metal y vidrio.

*Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química, directores: José Carlos Gutiérrez y Melba Sánchez S.

ABSTRACT

TITLE: Formulation of an expanded polystyrene emulsion with industrial applications*

AUTHOR: Cindy Gutiérrez Estupiñán**

KEYWORDS: Expanded polystyrene, chemical recycling, styrofoam, Citrus Sinensis, amyl acetate, plastic wood, ecological paint.

DESCRIPTION: Expanded polystyrene is one of the most produced polymers in the world and with greater difficulty to be recycled due to the large volume it occupies, making it an unprofitable process and becoming a contaminating waste very difficult to biodegrade.

In this research work, two emulsions were formulated from saturated solutions of expanded polystyrene, using as solvents amyl acetate and orange essential oil (Citrus Sinensis) and as surfactant nonylphenol and carboxymethylcellulose as protective colloid. For each emulsion, a characterization by optical microscopy was carried out, applying a lyophilic marker and another lyophobic marker to observe the effect on the micelles and the continuous phase of the emulsions, leading to the conclusion that both are W / O type emulsions.

As possible industrial applications, it was possible to obtain agglomerates with rice husk for which it was found that the factors of pressure, temperature, load and amount of emulsion affected the final product. A characterization was carried out with tests of hardness, resistance to compression, resistance to biotic agents, chemical agents and flammability, allowing to reach the conclusion that the agglomerates can reach a hardness of 65 (Shore Durometer type D), resist a compression of 10 MPa, present a good performance in the open and in the presence of a flame for being self-extinguishing and fireproof, becoming promising products to replace the wood agglomerates in certain uses. In turn, a preliminary formulation of paints was obtained from each emulsion using dyes and pigments with great potential for use on paper, wood, walls, metal and glass.

*Proyect to degree

**Science Faculty, Chemistry School, Directors: José Carlos Gutiérrez y Melba Sánchez S.

INTRODUCCIÓN

La industria de los polímeros ha crecido a pasos agigantados y cada vez es mayor la demanda de nuevos materiales que se ajusten a todo tipo de necesidades técnicas y cotidianas. El poliestireno expandido -EPS- hace parte de ese “boom” de los polímeros que se produjeron en masa sin prever las consecuencias. Su versatilidad, bajo costo y baja densidad, hacen que sea muy atractivo y útil (Subramanian, 2000). Se tiene la creencia de que no es un material reciclable y el destino final de toneladas de EPS termina siendo los vertederos, plantas incineradoras y todo tipo de ecosistemas, causando un gran impacto durante su largo camino hacia la descomposición, no solo por el poliestireno, sino también por sus aditivos (Kim et al., 2007). A diferencia de otros polímeros, el EPS no se recicla normalmente porque no es rentable debido a que un 98% de su composición es aire y tan solo el 2% restante es poliestireno (materia prima), haciendo que ocupe un gran volumen comparado con otros polímeros que se reciclan a diario (Zitko, 1993; Schmidt, 2011).

Al ser el deber de los científicos encaminar la investigación a resolver problemas que afecten al mundo y todo el conjunto de la humanidad, independientemente de la ganancia que produzca su desarrollo, desde el Laboratorio de Química Industrial se ha hecho investigación sobre materiales post-consumo para extender su vida útil.

Con base en esa necesidad y como parte de esa iniciativa, esta investigación se enfocó en el reciclaje químico del poliestireno-expandido con un carácter ecológico, donde se integraran otros desechos industriales para obtener productos con valor agregado. Se planteó una metodología que inicia con una etapa preliminar de acondicionamiento de materiales que luego fueron caracterizados usando las técnicas de espectroscopía infrarroja y cromatografía de gases acoplada

a espectrometría de masas. En la siguiente etapa, se seleccionaron como solventes del EPS el acetato de amilo y el aceite esencial de naranja, donde las disoluciones fueron tratadas con nonilfenol y carboximetilcelulosa para convertirlas en emulsiones estables, que fueron la base para hacer aglomerados con cascarilla de arroz y pinturas, a las que se les realizó algunas pruebas fisicomecánicas y químicas para conocer sus propiedades y su potencial uso en la industria.

Reciclando poliestireno expandido, cáscaras de naranja y cascarilla de arroz en un solo producto que entra a hacer parte de la madera plástica y sus innumerables formas de moldeo y uso, así como la formulación de pinturas con propiedades similares a las oleosas, contribuye a resolver un foco de contaminación ambiental y a su vez impulsar el desarrollo de una industria nacional ecológica y consecuente con su contexto.

Este proyecto se presentó en el XVII Congreso de Química (2017) en la modalidad de ponencia oral, difundiendo el mensaje de que lo desechable no es el “icopor”, sino la idea de que existen cosas para usar una vez y tirar.

OBJETIVOS

Objetivo General

Formular una emulsión de poliestireno expandido post-consumo con potenciales aplicaciones industriales.

Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización previa al EPS, a los solventes orgánicos y tensoactivos que se van a utilizar en la emulsión, mediante las técnicas de espectroscopía infrarroja y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.
- Selección de solventes para disolver el poliestireno expandido.
- Realizar pruebas con las proporciones adecuadas de tensoactivo y polímero/solvente hasta obtener emulsiones estables.
- Ensayar las emulsiones como precursor para fabricación de materiales de uso industrial y con valor agregado.
- Caracterizar los productos obtenidos a partir de la emulsión mediante pruebas físicas y químicas.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 Antecedentes

La base de datos Scopus (Elsevier) permitió realizar una búsqueda sobre las investigaciones reportadas hasta la fecha con la temática del Poliestireno Expandido (EPS), usando la ecuación de búsqueda TITLE-ABS-KEYWORD (*Expanded Polystyrene*).

En la base de datos se reporta un total de 2499 publicaciones sobre el EPS, teniendo su máximo en el periodo comprendido entre el 2011 y el 2015 y los índices más bajos entre 1954 y 1960, donde se registran tan sólo 5 publicaciones. Estados Unidos encabeza la lista con 441 registros. Colombia reporta 11 publicaciones relacionadas con el EPS. Ahora, si se buscan las publicaciones registradas en la misma base de datos sobre el reciclaje del EPS usando la ecuación de búsqueda TITLE-ABS-KEYWORD (*Recycled Expanded Polystyrene*), se obtienen resultados muy distintos. En total, se registran 105 publicaciones, donde Brasil encabeza la lista con 16 publicaciones, seguido por Estados Unidos y Japón.

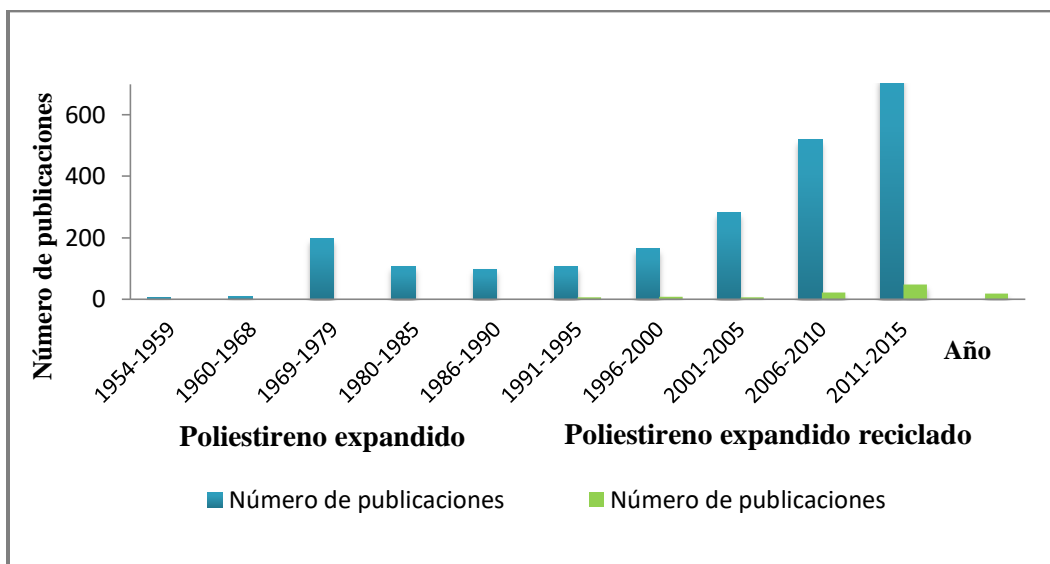


Figura 1. Gráfico comparativo entre publicaciones relacionadas con el EPS y su reciclaje.

Si se compara la información recopilada en la Figura 1, se puede observar la gran diferencia entre el número de publicaciones relacionadas con el EPS y su reciclaje post-consumo. De 2599 publicaciones recopiladas en todos los países por Scopus, tan sólo un 4% son investigaciones sobre su reciclaje; casualmente, es el mismo porcentaje que dedica Estados Unidos a sus reportes sobre el tema. Es evidente, entonces, que la comunidad científica se ha preocupado más por sacar provecho a la vida útil del EPS que por lo que pasa después al convertirse en un desecho post-consumo.

A continuación, se exponen los trabajos más llamativos encontrados en distintas editoriales disponibles virtualmente sobre el reciclaje químico del poliestireno expandido:

Noguchi, Tomita, Satake & Watanabe (1998), desarrollaron un prototipo de sistema de producción ecológico para reciclar el EPS, usando d-limoneno como agente reductor y obtener poliestireno después de recuperar el solvente; Poletto, Júnior & Zattera (2014) presentaron una metodología de reciclaje termo-mecánica de residuos de EPS con harina de madera, donde se aplicó moldeo por compresión para obtener un material compuesto; Mangalara & Varughese (2016), publican un artículo sobre un método de reciclado ecológico para obtener nano y micropartículas de poliestireno expandido, usando como disolvente el d-limoneno para formar una emulsión con alcohol vinílico como estabilizante, que a su vez, logra controlar el tamaño de partícula y al final del procedimiento recuperan el solvente mediante destilación; Tawfik, Eskander & Nawwar (2017) obtuvieron lo que denominaron maderas duras compuestas, a partir de residuos de EPS y cascarilla de arroz prensados en caliente, mostrando algunas propiedades físico-mecánicas que la hacen apta para reemplazar la madera natural en muchas aplicaciones diarias.

Desde Latinoamérica también se han reportado estudios sobre reciclaje de EPS, entre los que se encuentran el presentado por Torres (2004), titulado “Reciclaje de la espuma de poliestireno mediante el uso de d-limoneno”, donde desarrolla un proceso para extraer poliestireno luego de disolver el EPS en el d-limoneno extraído del aceite esencial de naranja y usar una precipitación con alcohol etílico para finalmente hacer un secado por aspersion del poliestireno obtenido. Diez años después, estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana (López et al., 2014) se apoyan en el trabajo anterior para realizar un “Tratamiento de residuos de poliestireno expandido utilizando solventes verdes”, donde evaluaron las variables de temperatura, agitación y porcentaje de mezcla de d-limoneno/EPS para plantear una matriz de diseño factorial que permitiera reducir eficientemente el volumen ocupado por el EPS. Adicionalmente, presentaron la propuesta de un prototipo de una máquina para tratar residuos de EPS en puntos primarios hipotéticos donde más se desecha el polímero y así reducir costos en el transporte para un posterior proceso de reciclaje del poliestireno y el estireno.

En la Universidad Industrial de Santander, el Laboratorio de Química Industrial y de Polímeros comenzó a estudiar el reciclaje químico del EPS mediante la preparación de emulsiones, como una novedosa alternativa para obtener productos de uso industrial y con valor agregado:

Inicialmente, se realiza un trabajo (Pachón, 2008) donde se demuestra la funcionalidad del poliestireno como aditivo en la producción de pinturas tipo laca piroxilina con un valor agregado y un potencial uso a nivel industrial. Dos años después, otro equipo de trabajo utiliza EPS en emulsiones de xileno (solvente) y lecitina de soya (tensoactivo) para usarla como adhesivo en la elaboración de un material compuesto aglomerado, a base cascarilla de arroz y aserrín

(Castañeda, 2010). Posteriormente, se hace un estudio donde se obtienen emulsiones a base de EPS, xileno (solvente) y nonilfenol (tensoactivo) para ser usadas como pinturas (Acevedo, 2013).

Para este trabajo de investigación se recopilaron los resultados considerados más pertinentes para realizar por primera vez una emulsión ecológica que sirva como base para hacer aglomerados con cascarilla de arroz y una formulación preliminar de pinturas.

1.2 Marco referencial

1.2.1 Poliestireno expandido. El estireno hace parte de las materias primas más importantes en una gran variedad de polímeros. Cerca del 25% es usado para producir poliestireno, un 20% para producir elastómeros, resinas termoestables y dispersiones poliméricas, un 15% se utiliza en el ABS y en copolímeros de SAN. Finalmente, un 10% aproximadamente se usa para la producción de poliestireno expandido (EPS) y el restante para otros materiales especiales (Wünsch, 2000).

El EPS es una de las más antiguas resinas termoplásticas de síntesis, derivado del benceno. Fue sintetizado en Alemania en 1951 en la Badische Anilin Und Soda Fabrik (BASF), bajo el nombre de Styropor.

Por definición, es un plástico celular de baja densidad, hecho de poliestireno por medio de distintos métodos (Gooch, 2007). Durante la polimerización del estireno, se asocia un éter de petróleo de bajo punto de ebullición que constituirá el agente porógeno que lleva a cabo la expansión. El agente de hinchamiento es generalmente el pentano.

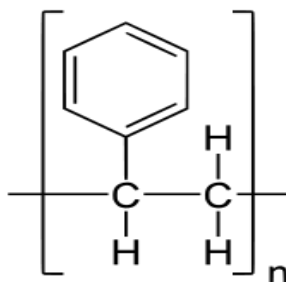


Figura 2. Representación del poliestireno.

1.2.1.1 Características y usos. Las características de los productos de espuma de poliestireno (ver figura 2) dependen de la calidad de los gránulos; del proceso de fabricación; de la masa específica y del porcentaje de desechos que se reintroducen en el proceso (Rougeron, 1977).

El EPS puede emplearse como un elemento de protección, transporte y comercialización de alimentos porque es fisiológicamente inocuo. Es decir, no favorece el crecimiento de hongos y bacterias que provocan la descomposición orgánica. Permite además incorporar aditivos para evitar la excesiva carga electrostática favoreciendo su uso en la industria electrónica. Es conocido también por absorber la energía producida por golpes y vibraciones. Flota en el agua y es inerte a los metales. Posee gran resistencia a los ácidos, soluciones alcalinas y con alto grado de salinidad. Se diluye en solventes orgánicos y aceites minerales (Chow, 1997).

1.2.1.2 Reciclaje del poliestireno expandido. No es posible revertir la polimerización del estireno pero sí reutilizarlo y reciclarlo, a pesar de que se encuentre en el nivel 6 (más resistente y con más componentes que el PET), como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Código de reciclaje para el poliestireno (reciclable). Adaptado de Vector portal (2014). Símbolo de poliestireno 6. Recuperado de <https://www.vectorportal.com>

Para el reciclaje del EPS post-consumo, el primer paso es limpiar el material de restos de partículas que pueden dificultar el proceso o la calidad del producto reciclado. Como una particularidad del EPS es su gran volumen para una mínima cantidad de materia prima, se recomienda disminuir su volumen por medio de uno de los tres métodos: Disolviéndolo, usando calefacción o pulverizándolo (Lugo & Sánchez, 2015). En el reciclaje mecánico, el EPS se muele, se funde y se moldea para formar un nuevo producto. En el reciclado térmico o energético, se realiza un proceso de combustión para obtener la energía del material y es utilizado principalmente cuando la materia prima está muy sucia o contaminada. En el reciclaje químico, no se necesita de un proceso de limpieza previo. Implica cambios en la estructura del material y dependiendo del tipo de proceso utilizado, se pueden obtener productos con diferentes características (Quintero, 2013).

1.2.2 Solventes. El tolueno, el benceno y otros compuestos aromáticos son buenos disolventes del EPS. Sin embargo, estos no son inocuos para el medio ambiente y evitarían la aplicación adicional de EPS reciclados en los envases de alimentos, lo cual no pasaría si se usara un solvente verde.

El tratamiento de EPS con d-limoneno ha sido reportado como una alternativa atractiva para la solubilización de EPS; no produce degradación del peso molecular durante el proceso de

reciclaje. En total, el 98% d-limoneno comercialmente disponible está compuesto por el aceite esencial obtenido de la piel de naranja, haciendo que el aprovechamiento del aceite esencial en el reciclaje del EPS, sea también una forma de reciclaje para una parte de las cáscaras de naranja que se pueden considerar otro desecho en las ciudades.

El acetato de amilo no se encuentra dentro de los solventes denominados “verdes” pero sí es mucho más amable que el acetato de etilo y el tolueno. Su amplio uso en la industria de alimentos facilita su disponibilidad y costo relativamente bajo.

A continuación, se presenta una tabla que resume el comportamiento del EPS con diversos tipos de solventes:

Tabla 1.

Comportamiento del EPS ante distintos solventes.

Solvente	Estabilidad/solubilidad
Ácidos diluidos	
HCl (35%) y HNO ₃ (50%)	
Metanol, etanol	Estable. No se destruye por acción prolongada.
Soluciones salinas	
Soluciones alcalinas	
Jabones y soluciones de tensoactivos	
Ácidos concentrados al 100%	
Disolventes orgánicos	No estable. Se contrae o se disuelve.
Hidrocarburos alifáticos saturados	
Aceites de diésel y carburantes	

1.2.2.1. Acetato de amilo. Se le llama también aceite de banana y es un éster del alcohol isoamílico y el ácido acético (ver Figura 4). Se obtiene de forma natural de algunas frutas como

el banano y las peras. Es usado por la industria alimentaria como aromatizante (Fahlbusch, 2003), aunque también se emplea como solvente y en la elaboración de perfumes. Se considera un buen solvente del poliestireno expandido (Noguchi et al., 1998). A gran escala, puede obtenerse por procesos químicos a partir de alcohol y ácido obtenidos por fermentaciones conocidas en la biotecnología industrial (Dupont, 2007).

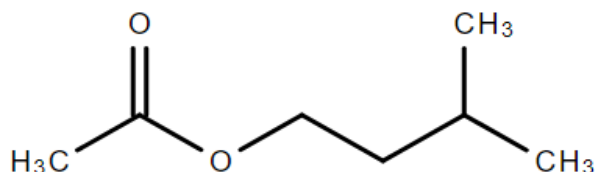


Figura 4. Estructura del acetato de amilo.

1.2.2.2. Aceite esencial de naranja. Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas, usados en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes) (Bandoni, 2000), aunque también presentan propiedades antibacteriales, antifúngicas, antimicrobiales, entre otras (Dabbah, Edwards & Moats, 1970). El aceite esencial de naranja (*Citrus Sinensis* L.) presenta un alto contenido de monoterpenos cuyo componente mayoritario es el limoneno (90%-96%) (Guédez et al., 2014).

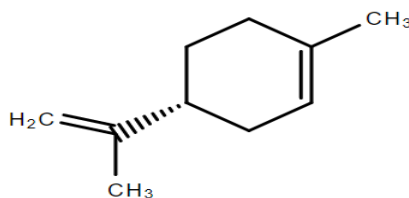


Figura 5. Estructura del limoneno.

Para esta investigación, el compuesto de mayor interés es el d-limoneno pues es quien disuelve el poliestireno expandido. Presenta dos enlaces dobles aislados, como se observa en la Figura 5.

1.2.3 Emulsiones. Una emulsión es un sistema constituido por dos fases líquidas inmiscibles, en donde una de ellas se dispersa a través de la otra en forma de gotas muy pequeñas, cuya estructura es estabilizada por un agente surfactante (Kim et al., 2008).

En una emulsión, las cantidades relativas de fase dispersa y continua influyen notablemente sobre las propiedades. Si la fase dispersa es inferior al 20%, se dice que tiene bajo contenido. En este caso, hay poca interacción entre las gotas. Si es superior al 60% del volumen, se dice que las gotas dominan los efectos y en los casos más extremos, pueden entrar en contacto y la emulsión se vuelve muy viscosa.

La cantidad de agente emulsionante y su concentración es variable. Si no hay una concentración mínima de algunos miles de ppm, no hay suficiente emulsionante para estabilizar la emulsión. En general, se considera que la concentración del emulsionante debe estar entre 0.2 y 3%. Los dos tipos de emulsión más comunes (Aguilera, 2011) son O/W y W/O, presentados esquematizados en la figura 6:

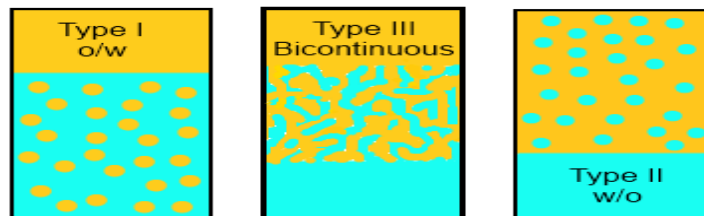


Figura 6. Esquema de los tipos de emulsiones.

Adaptado de Abbott, S. (2012). *Surfactants. Principles and Practice*. Recuperado de <http://www.stevenabbott.co.uk/practical-surfactants/basics.php>

- O/W: Si la fase dispersa es aceite y la fase continua es agua.
- W/O: Si la fase dispersa es agua y la fase continua es aceite.

En el caso de las emulsiones W/O (agua-aceite), si la película tiene una mayor afinidad por el agua que por el aceite, la tensión superficial será menor en el lado del agua. La película tenderá a curvarse, buscando reducir la tensión superficial total. Al reducir la tensión superficial en el lado exterior y a aumentarla hacia el interior, forma glóbulos de aceite en el agua. En el caso de las emulsiones O/W (aceite-agua), ocurrirá el fenómeno contrario. El tipo de emulsionante aplicado depende del método de mezcla y de la estabilidad en el tiempo que se desee (López, 2012).

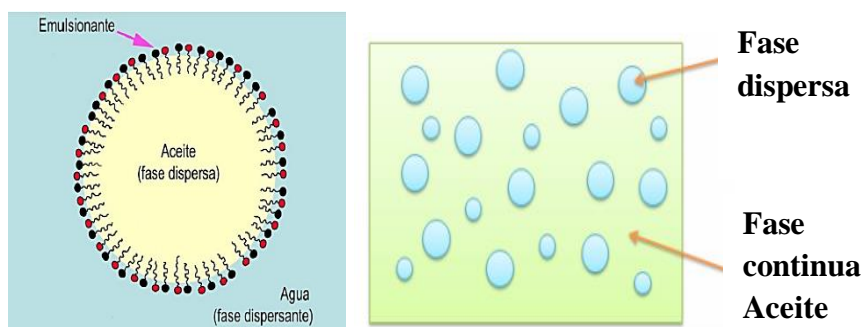


Figura 7. Estructura del emulsionante entre las fases. Adaptado de Pascuali, R. (2009).

Seminario sobre emulsiones. Recuperado de <http://www.slideshare.net/zinzita/emulsiones>

Los tensoactivos son compuestos anfífilos, es decir, que tienen una doble afinidad, definida desde el punto de vista fisicoquímico como una dualidad polar-apolar. Por tanto, la molécula consta de un grupo polar (como grupos alcoholes, ácidos, sulfatos, sulfonatos, fosfatos, aminas, amidas, entre otros) y un grupo poco polar que generalmente es una cadena alquílica o bencilalquílica. La parte polar es afín con solventes polares como el agua (hidrofílica) (ver Figura 7).

Por otra parte, la parte apolar se denomina hidrofóbica o lipofílica (ver Figura 8). La mayoría de los compuestos anfífilos tienden a formar aglomerados en el medio o a concentrarse en las interfases y cambian sus propiedades. Para que a una molécula anfífila se le considere un

tensoactivo, no debe ser demasiado polar ni demasiado apolar. La cadena hidrófoba del tensoactivo debe tener un mínimo de 8 carbonos si el grupo polar es débil, aumentando el número de carbonos a medida que aumenta la polaridad del grupo hidrófilo (Bailey, 1984).

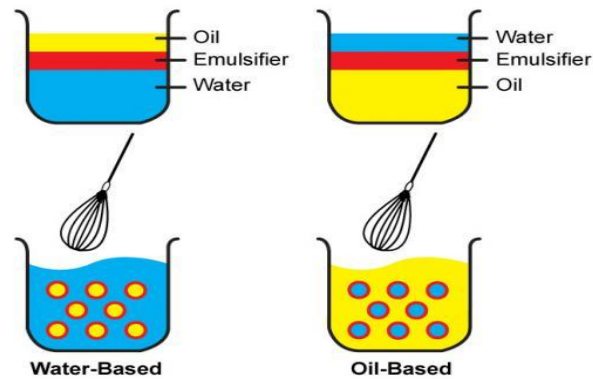


Figura 8. Papel del emulsificante o tensoactivo en la emulsión. Adaptado de Weebly (2015). Emulsion. Recuperado de <https://fudandstuff.weebly.com/emulsion.html>

1.2.4 Cascarilla de arroz. El arroz hace parte de la dieta básica en todo el mundo, por lo que su producción se da de manera masiva en todos los continentes (Valverde, 2007). Es separado en el proceso de pilado del arroz, donde queda la cascarilla al costado de los molinos y se genera una acumulación de desechos (Guevara, 1995). Normalmente, la cascarilla se incinera para reducir su volumen generando humos contaminantes. Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Esto se debe a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, silicio (90 al 97% SiO₂) y tiene bajo contenido de celulosa (Rodríguez, Vivas & Montalvo, 1992; Sierra, 2010).

La cascarilla se mezcla con una resina comercial o polímero aglomerante para obtener un aglomerado duro, moldeable, fácil de perforar y de clavar. El material resiste y no propaga el fuego, contiene la humedad e impide el ataque de hongos y bacterias, microorganismos que

dañan a su más cercano competidor: el aglomerado de madera. No se corroe y es resistente al fuego y los ácidos, tiene buenas propiedades mecánicas y de estabilidad química, garantizando su versatilidad para utilizarse en moldes y formar una gran variedad de productos. El aglomerado también aísla el ruido y el calor, por lo que puede utilizarse como sustituto del corcho en cabinas radiofónicas y de grabación; además, posee una alta resistencia mecánica (Quinceno, Gutiérrez & Yaír, 2012; Piñeros et al., 2017; Sierra, 2010).

Diversas aplicaciones se han investigado para la cascarilla de arroz, entre las que se encuentran la obtención de dióxido de silicio para la industria farmacéutica (Ledesma et al., 2012), uso como adsorbente para la remoción de Cromo (Herrera, Anaguano & Suárez, 2013) y colorantes (Cabrera, Camacho & Vásquez, 2016), fabricación de bloques de concreto (Centeno et al., 2015) y como material alternativo en la construcción (Mafla, 2009), producción de bioetanol (Riaño, 2010), entre otros.

1.2.5 Pinturas. Pablo Picasso la definió como poesía que se escribe en versos con rimas plásticas, pero más técnicamente, Calvo (2009) define un recubrimiento o pintura líquida como una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca, se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida. Los pigmentos son compuestos orgánicos o inorgánicos que brindan el color y el poder de cubrición; las cargas, generalmente de naturaleza inorgánica, aportan cuerpo, materia sólida y dan estructura, viscosidad y reología a la pintura; las resinas, polímeros o ligantes mantienen unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas al secarse; los disolventes dan la viscosidad óptima a la pintura, solubiliza resinas y regula velocidad de evaporación; los aditivos aportan características concretas a la pintura seca como estabilización o protección a factores ambientales.

2. METODOLOGÍA



2.1 Etapa Preliminar

2.1.1 Poliestireno expandido. Se recopiló aproximadamente un kilo de poliestireno expandido post-consumo en buenas condiciones, proveniente del embalaje de equipos de la

Escuela de Química y la donación de estudiantes de química. Se limpió el polvo y se dividió en trozos rectangulares (ver Figura 9).



Figura 9. Poliestireno Expandido (EPS).

2.1.2 Solventes. Se usó acetato de amilo de uso comercial proveniente de Laboratorios León y se gestionó en el Cenivam la transferencia de 1200 mL de aceite esencial de naranja (*Citrus Sinensis*) (ver Figura 10).



Figura 10. Acetato de amilo y Aceite esencial de naranja.

2.1.3 Selección de tensoactivo y coloide protector. Se utilizó nonilfenol de uso comercial como tensoactivo y fue necesario usar carboximetilcelulosa (CMC) como coloide protector para estabilizar la emulsión. Se preparó una solución acuosa de 200 mL con nonilfenol al 1% y CMC al 2% (ver Figura 11).



Figura 11. Nonilfenol comercial y carboximetilcelulosa.

2.1.4 Cascarilla de arroz. Fue suministrada por la arrocera Tropical Ltda., ubicada en la Cra 16 No. 7-25 (Bucaramanga) y luego fue sometida a un proceso de molienda, clasificación de tamaño y secado. En la molienda se usó un molino de cuchillas (Standard Model No. 3), en la separación por tamaño se usaron tamices (Portable Sieve Shaker Model RX-24) para una granulometría media (Malla No. 40). Finalmente, se realizó un secado en estufa a 100°C durante 5 horas para eliminar la humedad y así evitar la formación de burbujas que generen poros en los aglomerados (ver Figura 12).



Figura 12. Cascarilla de arroz tamizada en malla No. 40.

2.2 Caracterización de materiales

Se usó la técnica de espectroscopía infrarroja para hacer la caracterización previa del EPS, el acetato de amilo, el nonilfenol y la carboximetilcelulosa (CMC). Al aceite esencial de naranja se le hizo un análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) para cuantificar el d-limoneno presente.

2.2.1 Caracterización del aceite esencial y cuantificación de d-limoneno. Para cada prueba se tomaron 50 μL de aceite esencial y se diluyeron en diclorometano hasta completar 1 mL. Luego, 1 μL de la solución se inyectó al equipo descrito a continuación, para su análisis cromatográfico. Los análisis se llevaron a cabo mediante cromatografía de gases- espectrometría de masas (GC-MS) en un equipo Agilent Technologies 6890 Plus (HP, Palo Alto, California, EE.UU.), acoplado a un detector selectivo de masas Agilent Technologies MSD 5973, equipado con un puerto de inyección split/splitless (relacion split 1:50), un inyector automático Agilent Technologies 7863, un sistema de datos HP-MS ChemStation G17001DA (Versión D.00.01.27, 2002). Se usó una columna capilar de sílice fundida DB-1 (J & W Scientific, Folsom, CA, EE.UU.) de 60 m x 0.25 mm, D.I., poli (dimetilsiloxano) de 0.25 μm de espesor.

La intención de realizar este análisis fue cuantificar el d-limoneno que es el compuesto responsable de disolver el poliestireno expandido.

2.2.2 Análisis de espectrometría infrarroja. Los análisis de las muestras sólidas y líquidas se realizaron en un equipo FTIR Tensor II marca Bruker.

2.3 Selección de solventes

Se realizaron ensayos en acetato de etilo, acetato de amilo, tolueno y aceite esencial de naranja para comprobar su efectividad para disolver el poliestireno expandido. Las condiciones para

escoger los solventes después de los ensayos de solubilidad, es garantizar una alta disolución del EPS, baja toxicidad, disminución de costos, disponibilidad en el mercado, carácter ecológico, innovación en la investigación y mejores prestaciones para las aplicaciones de la emulsión (aroma agradable).

2.4 Obtención de las emulsiones

Después de preparar las soluciones saturadas de polímero/solvente usando acetato de amilo y aceite esencial de naranja, se varió la cantidad de tensoactivo y coloide protector para obtener emulsiones estables luego de un proceso de agitación. Se escogió el nonilfenol como tensoactivo y la carboximetilcelulosa (CMC) como coloide protector, debido a que no fue posible estabilizar la emulsión sólo con el tensoactivo. Para esto, se preparó una solución acuosa al 1% v/v de nonilfenol y al 2% v/v de carboximetilcelulosa, cuyo volumen se agregó en distintas cantidades en la solución saturada de polímero/solvente, con el fin de observar diferencias en sus características.

La agitación se realizó con un emulsificador Hamilton Beach Scovill (modelo 937) de tres velocidades que cumple la función de disminuir progresivamente el tamaño de las gotas por el esfuerzo de cizalla, facilitando la interacción de los componentes de la emulsión.

Se planteó la formulación de tres emulsiones distintas de cada solvente, con el fin de observar diferencias al variar la cantidad de polímero y solución de nonilfenol al 1 % y CMC al 2% v/v.

2.5 Caracterización de las emulsiones

2.5.1 Clasificación de emulsiones por microscopía óptica. Se tomaron micrografías a 700X y a 1400X con un microscopio digital marca Hirox (KH 7700) para confirmar la formación de

una emulsión observando las micelas formadas, medir el tamaño de algunas de ellas (Figura 13) y observar la fase teñida después de agregar un colorante liófilo (ver Apéndice D) y otro liófilo (ver Apéndice E) para deducir el tipo de emulsión formada.



Figura 13. Microscopio digital completo, marca Hirox (KH 7700).

2.5.2 Solubilidad de emulsiones. En cuatro tubos de ensayo se depositó un pequeño volumen de cada emulsión y se agregó agua en dos de ellos y su respectivo solvente orgánico (acetato de amilo o aceite esencial de naranja) en los dos restantes para confirmar si se solubiliza, si se mantiene separado en fases y/o si se rompe la emulsión.

2.6 Búsqueda de aplicaciones funcionales

2.6.1 Aglomerados de cascarilla de arroz. Revisando trabajos previos realizados en el grupo de investigación y la bibliografía utilizada en el estado del arte, se encontró que es posible elaborar aglomerados usando la emulsión como matriz polimérica y la cascarilla de arroz como carga reforzante, mediante un proceso que supone las operaciones de homogenizado, moldeo, prensado y calentamiento para hornear. Se elaboraron distintos aglomerados para cada emulsión, variando la cantidad de cascarilla, la cantidad de la emulsión, la temperatura y la presión, manteniendo constante los demás factores para observar de qué manera se ven afectadas las

propiedades del aglomerado; establecidas las mejores condiciones, se prepararon las probetas para evaluar las propiedades del producto terminado.

2.6.2 Pinturas. En la revisión bibliográfica se encontró también la factibilidad de obtener pinturas, cuya base es la emulsión a la cual se agrega el aceite de linaza (plastificante) y colorantes o pigmentos con adición de carga para reducir porosidad para lograr la viscosidad, flexibilidad, cobertura y el color deseado, sin pretender que estas formulaciones preliminares constituyeran una pintura con una formulación similar a las existentes en el mercado, pues se sale de los objetivos establecidos en este trabajo de investigación.

2.7 Caracterización de productos

2.7.1 Aglomerados

2.7.1.1 Micrografías. Se tomaron micrografías a 70X de la superficie de un aglomerado para observar el efecto aglomerante de la matriz polimérica en la cascarilla.

2.7.1.2 Resistencia a agentes químicos. Un aglomerado de una emulsión proveniente de cada solvente se sumergió en agua, en una solución al 10% de alcohol industrial, en una solución al 10% de H₂SO₄ y en una solución al 10% de detergente, con el fin de observar cambios cualitativos al cabo de un mes para evaluar un desempeño preliminar frente a diferentes ambientes de acuerdo a los posibles usos potenciales del mismo.

2.7.1.3 Resistencia a agentes bióticos. Un aglomerado de una emulsión proveniente de cada solvente se enterró a la intemperie en el jardín durante un mes, con el fin de observar el efecto de la humedad, y de factores bióticos, buscado indicios de su biodegradabilidad, y permanencia en dicho ambiente.

2.7.1.4 Inflamabilidad. Este test permite observar el comportamiento del material ante una llama, con el fin de analizar cualitativamente la inflamabilidad del material, la formación de vapores y su comportamiento en caso de incendio o de ser sometido a la incineración.

2.7.1.5 Propiedades mecánicas

2.7.1.5.1. Dureza. Para este ensayo se empleó un durómetro Shore tipo D (Figura 14), con el objeto de evaluar la resistencia que oponían los aglomerados al ser penetrados por otro material más duro. (Ardila, 2010).



Figura 14. Durómetro Shore D y cálculo de dureza en una probeta usando el durómetro.

2.7.1.5.2. Resistencia a la compresión. Es un ensayo mecánico de esfuerzo-deformación. Cada probeta dimensiones conocidas se deforma hasta la rotura con una prensa hidráulica que imprime una fuerza de compresión que aumenta gradualmente. Se usó un equipo de ensayos universales HSM 58 Universal Material Tester (20 KN), observada en la Figura 15:

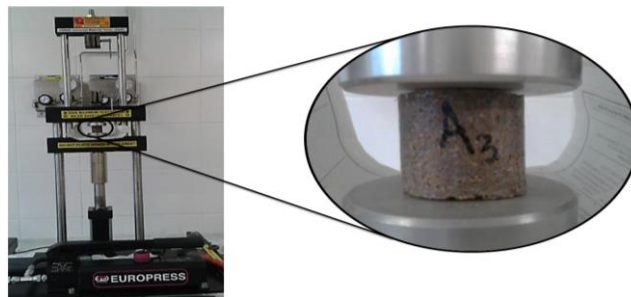


Figura 15. Equipo de ensayos universales donde se realizó la resistencia a la compresión.

2.7.2 Pinturas

2.7.2.1 Pinturas con colorantes. A un pequeño volumen de emulsión diluida en su fase continua, se agregó aceite de inmersión y colorante, hasta formar una solución estable coloreada y de viscosidad relativa. Se hizo una prueba de solubilidad de cada colorante en ambos solventes y emulsiones. Cada pintura obtenida fue aplicada en pared blanca, madera, ladrillo, papel bond, vidrio y metal. Se varió la cantidad de emulsión y de colorante/pigmento para observar diferencias cualitativas.

2.7.2.2 Pinturas con pigmentos. A los pigmentos se les agregó caolín como pigmento base y ambos compuestos fueron mezclados, pulverizados e integrados en un molino de bolas marca Minutem MLW (ver Figura 16). Cada pintura obtenida fue aplicada en pared blanca, madera, ladrillo, papel bond, vidrio y metal. Se varió la cantidad de emulsión y de colorante/pigmento para observar diferencias cualitativas.



Figura 16. Molino de bolas marca Minutem MLW

2.8 Conclusiones y divulgación de resultados

Recopilar conclusiones a partir del análisis de resultados, realizar las recomendaciones y sugerencias para próximas investigaciones relacionadas y divulgar el conocimiento adquirido en el XVII Congreso Colombiano de Química (ponencia oral) sobre otra forma de reciclar desechos

industriales de manera simultánea y así contribuir a mejorar las condiciones de un planeta que necesita más proyectos similares, como parte del cambio que se necesita con urgencia en la producción y el tratamiento de residuos a gran escala.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 Caracterización de materiales

3.1.1 Análisis de espectros infrarrojo. Los espectros infrarrojo del EPS, el nonilfenol, el acetato de amilo y la carboximetilcelulosa usados, se adjuntan en el Apéndice B. Todos los espectros infrarrojo de los materiales (tipo comercial) coinciden con su respectiva estructura, cuyos picos característicos se tabulan en dicho anexo.

3.1.2 Análisis cromatográfico del aceite esencial de naranja. Los espectros de masas de terpenos del aceite esencial de naranja (*Citrus Sinensis*) siempre presentan monoterpenos monocíclicos (felandreno, limoneno, terpinoleno), bicíclicos (α -pineno y sabineno) y acíclicos (mirceno) que pertenecen a la fracción liviana y poseen una fragmentación característica común en el ión m/z 93 (>80%) como pico de base o de alta intensidad. En la fracción pesada, se encuentran el n-octanol, nonanal, nonanol, decanal, decanol, undecanal, dodecanal, dodecanol y ácido dodecanoico, de los cuáles aquí sólo se tiene en cuenta el octanal que está en mayor proporción.

Para este espectro, sólo se tomaron en cuenta los compuestos mayoritarios que se presentan en la Tabla 2, debido a que la razón para realizar este análisis es cuantificar el limoneno presente.

Tabla 2.

Nombre del compuesto y su porcentaje de composición en el aceite esencial analizado.

Nombre	% de composición
α -pineno	0,649
Sabineno	0,483
Mirceno	2,147
Octanal	0,423
Limoneno	94,131
Linalool	1,406
trans-p-Menta-2,8-dien-1-ol	0,114
Oxido cis-limoneno	0,366
Oxido trans-limoneno	0,279

Para el aceite esencial de naranja analizado se cuenta con un 94,1315839% de limoneno, compuesto responsable de la disolución del EPS. Se puede decir que es una cantidad considerable de limoneno, teniendo en cuenta que en otras fracciones destiladas el porcentaje de limoneno pueden no superar el 80% de la composición total (Luna, 2007). En el Apéndice C se adjunta el cromatograma del aceite esencial de naranja (*Citrus Sinensis*) y su correspondiente cuantificación de componentes mayoritarios.

3.2 Selección de solventes

Los resultados de los ensayos con los diferentes solventes se recogen en la tabla 3. A pesar de que el tolueno fue el solvente con mayor solubilidad del EPS, no es considerado como un solvente verde. De acuerdo con las condiciones planteadas en la metodología, se escogieron el acetato de amilo y el aceite esencial de naranja como los solventes a usar en las siguientes etapas.

Tabla 3.

Ensayos preliminares de solubilidad de EPS en solventes comunes.

Solvente	Solubilidad (g/mL)
Tolueno	0.520
Aceite esencial de naranja	0.511
Acetato de amilo	0.502
Acetato de etilo	0.384

Las disoluciones preparadas no se llevaron a su límite de solubilidad, con el fin de evitar que la viscosidad fuera muy grande y se dificultara la agitación en la siguiente etapa al obtener la emulsión. Para ambos solventes se disolvió la mitad de su peso en EPS. En la Figura 17 se presenta el proceso de disolución del EPS en el aceite esencial de naranja y en el acetato de amilo.

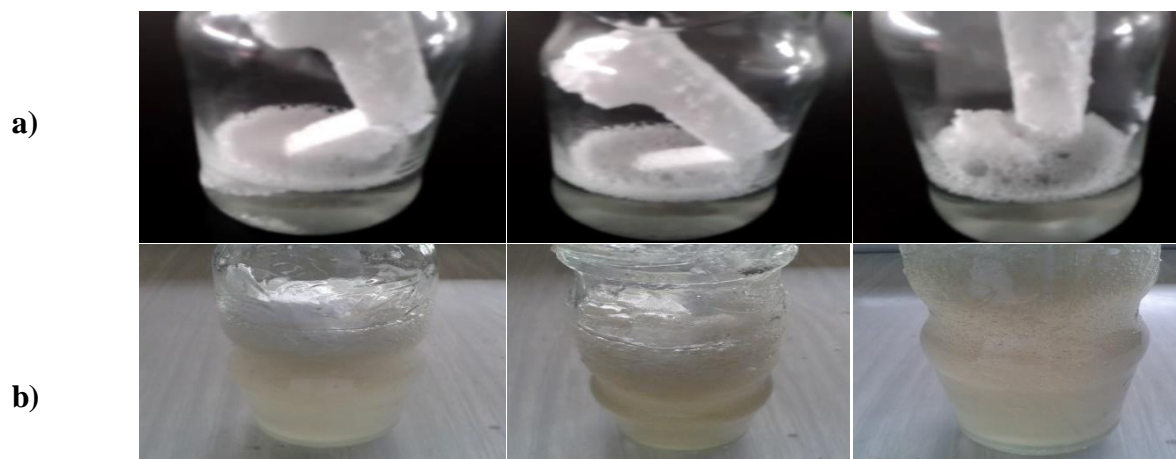


Figura 17. Secuencia de imágenes del EPS y disolviéndose en acetato de amilo (a) y aceite esencial de naranja (b).

3.3 Obtención de las emulsiones

Para convertir las disoluciones de acetato de amilo y aceite esencial de naranja en emulsiones, fue necesario agregar nonilfenol (tensoactivo) y carboximetilcelulosa (coloide protector) por medio de una solución acuosa de nonilfenol al 1% y CMC al 2%. Esta concentración fue la mínima necesaria encontrada durante numerosos ensayos previos para estabilizar las emulsiones de manera que permitieran realizar las mezclas para los aglomerados y las pinturas.

La viscosidad (observada a simple vista) y la estabilidad de las emulsiones se podían aumentar de manera significativa al incrementar la cantidad de solución nonilfenol/carboximetilcelulosa. Mientras una emulsión con poco tensoactivo duraba estabilizada tres días, con una mayor cantidad alcanzaba hasta 1 semana (ver Figura 18); la emulsión se volvía a estabilizar con agitación durante 5 segundos de manera que la separación de las fases no era significativa. Adicionalmente, se podía observar que debido a la evaporación una capa de polímero iba quedando en la parte superior de la emulsión a medida que pasaba el tiempo.



Figura 18. Aspecto de una emulsión de acetato de amilo/EPS.

En la Tabla 4 se presentan las proporciones usadas para cada emulsión preparada, incluyendo las condiciones de agitación y almacenamiento:

Tabla 4.

Condiciones y componentes de las emulsiones de acetato de amilo y aceite esencial de naranja.

Condiciones	Acetato de amilo			Aceite esencial de naranja		
	AA1	AA2	AA3	AE1	AE2	AE3
Cantidad de solvente	500 g	100 g de emulsión	50 g de emulsión	200 g	100 g de emulsión	500 g
Cantidad de EPS disuelto	250 g	AA1	AA1	100 g	AE1	280 g
Cantidad de nonilfenol al 1% y CMC al 2%	50 g	10 g	20 g	20 g	20 g	100 g
Agitación	Velocidad media a 13.418 rpm durante 2 minutos en emulsificador					
Almacenamiento	Botellas de vidrio reutilizadas con tapa					

3.4 Caracterización de emulsiones

3.4.1 Clasificación de emulsiones por microscopía óptica. Para confirmar la formación de las emulsiones, se observaron las micelas en cada una y se midió el diámetro a algunas de ellas, como se registra a continuación en las Figuras 19, 20 y 21.



Figura 19. Micrografía (4200X) donde se observa una de las micelas de la emulsión AA1.

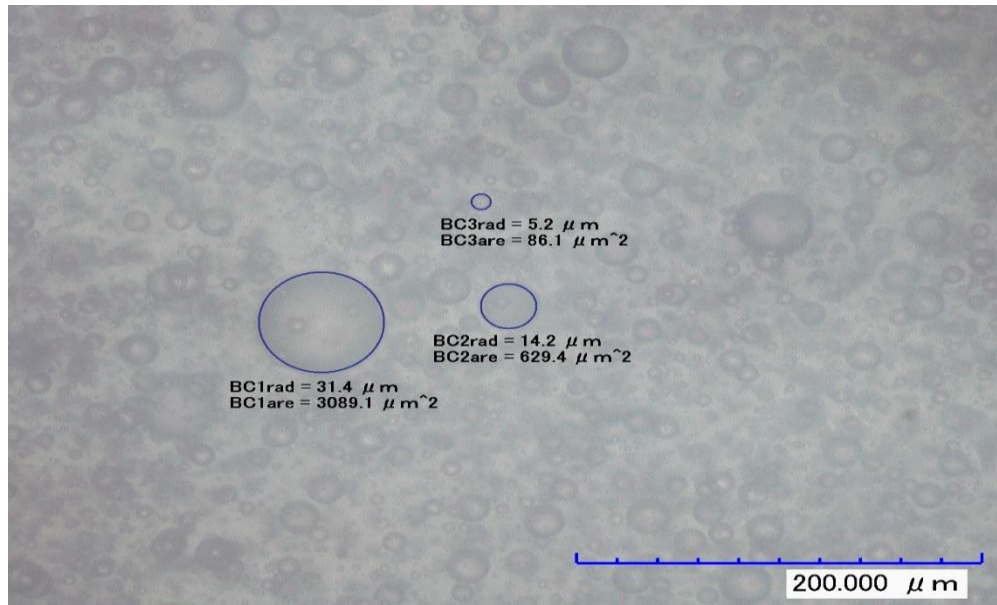


Figura 20. Micrografía 700X donde se observa el diámetro de distintas micelas de la emulsión AA1 de acetato de amilo/EPS

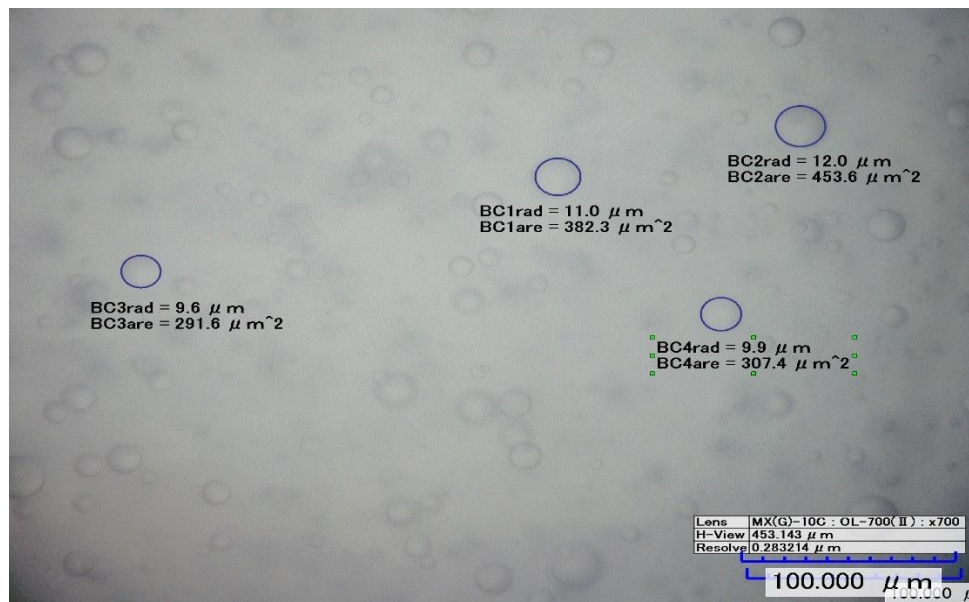


Figura 21. Micrografía (700X) donde se observa el diámetro de distintas micelas de la emulsión AE1 de aceite esencial/EPS

Las emulsiones se pueden clasificar por el tamaño de las micelas en la fase continua. Cuando estas gotitas dispersadas son mayores de $0,1 \mu\text{m}$, la emulsión es una macroemulsión. Las emulsiones de este tipo son normalmente inestables termodinámicamente (es decir, las dos fases se separarán a lo largo del tiempo debido a la tendencia de la emulsión a reducir su energía interfacial por coalescencia y separación). Como características comunes de las macroemulsiones, se encuentra que son de apariencia turbia, viscosas, con micelas de un diámetro entre 0.2 a $50 \mu\text{m}$ (Schramm, 1992). Las emulsiones preparadas de acetato de amilo y aceite esencial de naranja cumplen con estas características.

Otra forma de clasificar las emulsiones, específicamente las macroemulsiones, es según la fase continua y la fase dispersada (O/W o W/O). Para esto, se añadió a cada emulsión un colorante azul de tipo liófilo (ver Apéndice D). La naturaleza polar del colorante hace que se tiña la parte acuosa de la emulsión. En una emulsión W/O (agua en aceite), las micelas contienen la parte acuosa y la fase continua presenta la parte liófila. En las partes a y c de la Figura 26 se observa el resultado del experimento descrito anteriormente, donde se ven las micelas de ambas emulsiones teñidas con el colorante liófilo y la fase continua teñida en menor cantidad. De manera similar, se añadió un colorante azul liófilo (ver Apéndice E) a ambas emulsiones y al teñirse la fase continua, como se observa en las partes b y d de la Figura 22, se confirmó que ambas emulsiones son de tipo W/O cuyas micelas son acuosas y la fase continua aceite (en este caso, acetato de amilo y aceite esencial de naranja).

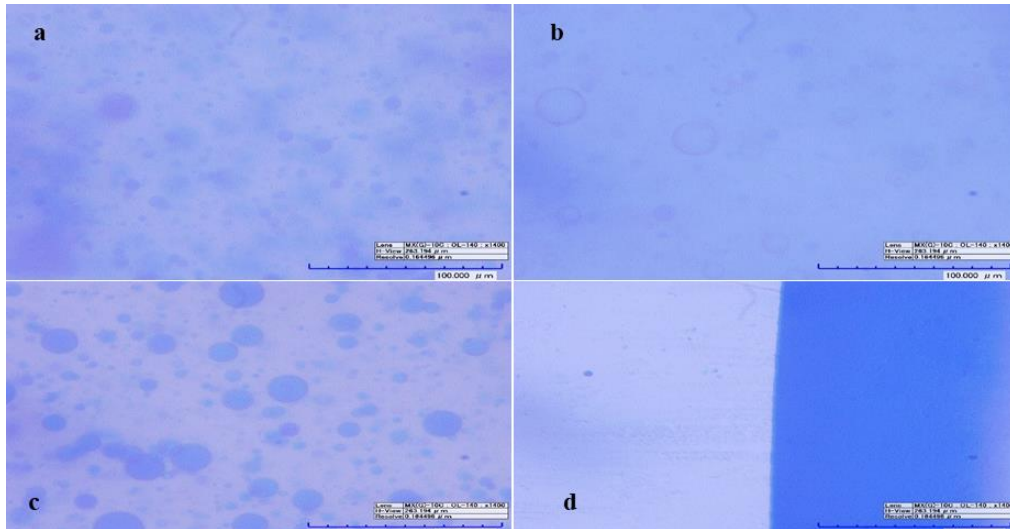


Figura 22. Micrografías (1400X) de las emulsiones con un marcador liófilo y un marcador liófilo. a) Emulsión de acetato de amilo con marcador liófilo. b) Emulsión de acetato de amilo con marcador liófilo. c) Emulsión de aceite esencial de naranja con marcador liófilo. d) Emulsión de aceite esencial de naranja con marcador liófilo junto a la misma emulsión con colorante liófilo.

En la micrografía d, se observa que ambos colorantes tiñen la fase continua pero el liófilo (derecha) se disuelve mucho mejor en la fase continua (aceite esencial), generando un gran contraste en la coloración.

3.4.2 Solubilidad de emulsiones. La emulsión de aceite esencial de naranja se solubiliza en su mismo aceite, mediante un proceso de agitación manual corto (6 segundos) para que el aceite agregado se incorpore en la fase continua, dando como resultado una emulsión menos viscosa. Para el acetato de amilo ocurrió algo similar, obteniéndose una disminución aparente de la viscosidad.

Al agregar agua a una emulsión de acetato de amilo (ver Figura 23), se observa que no se solubiliza inmediatamente. Es necesario un proceso de agitación considerable (agitador Scovill a 13.478 segundos durante 1 minuto) para brindar la energía necesaria para que el agua se incorpore en las micelas de la fase dispersa de la emulsión.



Figura 23. Vista de una emulsión normal y de la emulsión AA1 después de agregar agua.

En la Figura 24 se observa una reacción similar a la anterior, donde el agua no se solubiliza inmediatamente con la emulsión de aceite esencial de naranja y es necesario un proceso de agitación (agitador Scovill a 13.478 segundos durante 1 minuto) para observar la incorporación del agua a la fase dispersa acuosa de la emulsión.



Figura 24. Vista de una emulsión normal y de la emulsión AE1 después de agregar agua.

3.5 Búsqueda de aplicaciones funcionales

3.5.1 Aglomerados de cascarilla de arroz. Los aglomerados fueron preparados variando las proporciones de cascarilla de arroz, emulsión, solución tensoactivo/coloide protector, temperatura y presión, con el fin de observar el efecto de estos factores. En el Apéndice G se presentan las condiciones con las que se prepararon los aglomerados de cada emulsión. Con la caracterización se establecerá la correlación entre cada uno de estos factores en el producto final y la respuesta a los ensayos de dureza y resistencia a la compresión.



Figura 25. Comparación entre un aglomerado con proporción 1:1 de emulsión/cascarilla y otro aglomerado con proporción 3:1.

La apariencia del aglomerado se ve a simple vista afectada por la proporción de cascarilla de arroz y emulsión agregada. En la Figura 25 se observa la comparación entre un aglomerado con igual proporción de cascarilla-emulsión (AAP2.3) y otra con proporción 3:1 de emulsión-cascarilla (AAP3.3). Una mayor cantidad de emulsión (matriz polimérica) hace que las fibras se aglomeren más y confiere plasticidad que protege su interior y una mejora de sus propiedades físico-mecánicas que será confirmada con los ensayos de dureza y resistencia a la compresión.



Figura 26. Algunas probetas de aglomerados usando diferentes moldes durante el conformado.

3.5.2 Pinturas. Antes de elaborar las pinturas, se hicieron pruebas de solubilidad a cada colorante con aceite esencial, acetato de amilo, agua y las emulsiones AA1 y AE1.

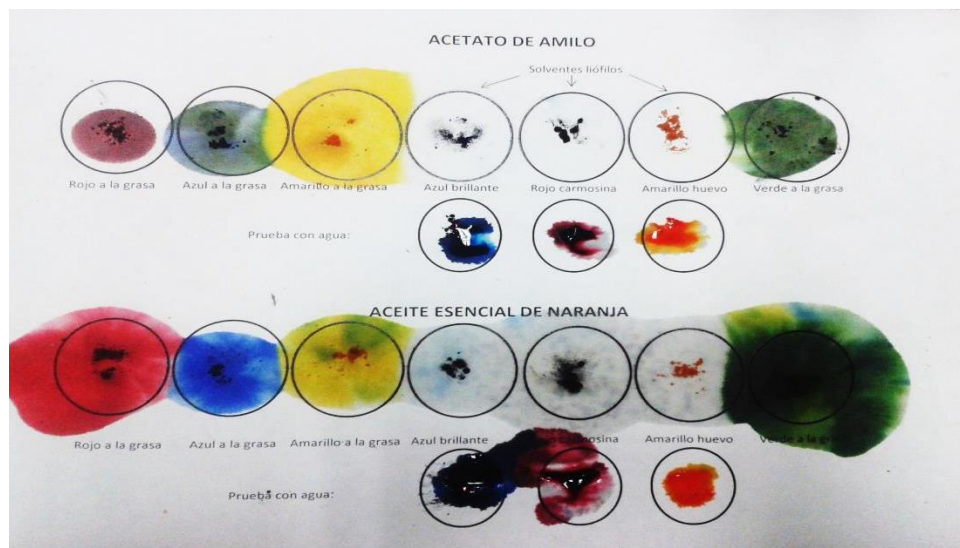


Figura 27. Prueba de solubilidad en acetato de amilo y aceite esencial para cada colorante usado.

En la Figura 27 se observan colorantes con distinta naturaleza polar. Los liófilos solubilizan en el acetato de amilo y el aceite esencial pero los liófilos no lo hacen, como era de esperarse. Al contrario, solubilizan fácilmente al contacto con el agua y se expanden en el papel por difusión.

Tabla 5.*Solubilidad de cada colorante en diferentes solventes.*

Colorante	Carácter polar	Disuelve en acetato de amilo	Disuelve en aceite esencial	Disuelve en agua
Rojo a la grasa	Hidrofóbico	Sí	Sí	No
Azul a la grasa	Hidrofóbico	Sí	Sí	No
Amarillo a la grasa	Hidrofóbico	Sí	Sí	No
Azul brillante	Hidrofilico	No	No	Sí
Amarillo huevo	Hidrofilico	No	No	Sí
Rojo carmosina	Hidrofilico	No	No	Sí
Verde a la grasa	Hidrofóbico	Sí	Sí	No

En la tabla anterior, se resume la solubilidad de cada colorante. El colorante verde a la grasa es una combinación de amarillo y rojo a la grasa y su solubilidad fue similar a la de sus componentes. En el Apéndice F se muestra la ficha técnica del fabricante para cada colorante.

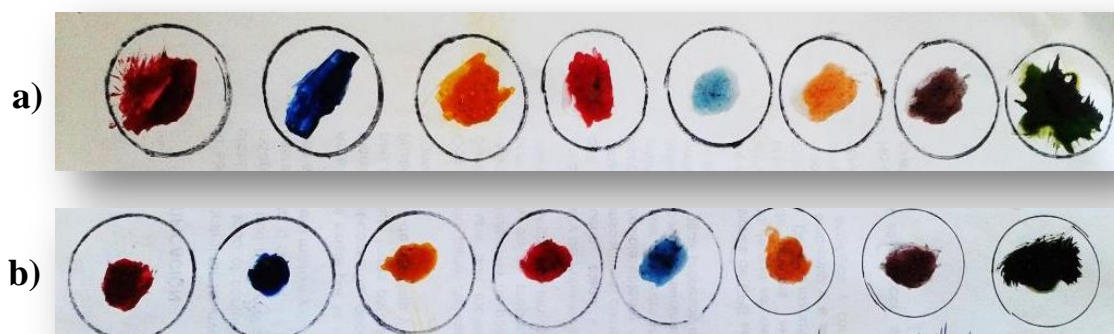


Figura 28. Colorantes disueltos en emulsiones de aceite esencial de naranja (a) y acetato de amilo (b)

En la Figura 28 se observa la prueba de la solubilidad de las emulsiones con cada colorante. Los colorantes liófilos (rojo, azul, amarillo y verde a la grasa) disolvieron muy bien en ambas emulsiones, debido a su naturaleza poco polar similar a la de la fase continua de cada emulsión. Los colorantes liófilos (azul brillante, rojo carmosina y amarillo huevo) formaron una dispersión con las emulsiones debido a la similitud con la fase dispersa (agua). En la caracterización de las emulsiones del apartado 3.4.1., se observó una mayor solubilidad del colorante azul brillante (liófilo) en las micelas acuosas de la emulsión.

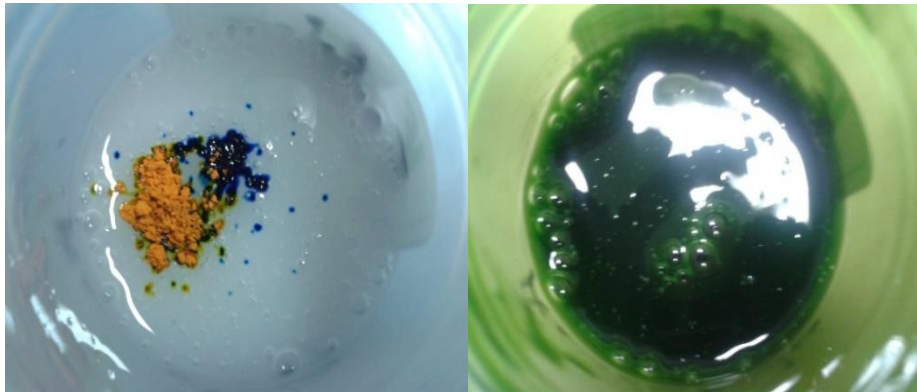


Figura 29. Elaboración de pintura verde con colorantes amarillo y azul a la grasa.

Se elaboraron formulaciones preliminares (solo con los componentes básicos) de pinturas con todos los colorantes disponibles (ver Figura 29). Es necesario destacar que las pinturas formuladas tienen buen comportamiento a pesar de que no son formulaciones completas, porque falta añadir aditivos para proteger el producto de la radiación U.V., oxidación, agentes bióticos, entre otros.

Tabla 6.

Formulación de pinturas diluidas (a) y concentradas (b).

a) Pinturas diluidas		b) Pinturas concentradas	
Composición	Cantidad	Composición	Cantidad
Emulsión	10 g	Emulsión	10 g
Solvente	3 g	Solvente	3 g
Aceite de inmersión	0,5 g	Aceite de inmersión	0,5 g
Colorante / Pigmento	0,01 g	Colorante / Pigmento	0,1 g

Se formularon pinturas con baja cantidad de colorante (0,01 g) para obtener colores pasteles y pinturas concentradas con diez veces más colorante (0,1), como se observa en la Tabla 6.

3.6 Caracterización de productos

3.6.1 Aglomerados

3.6.1.1 Micrografías

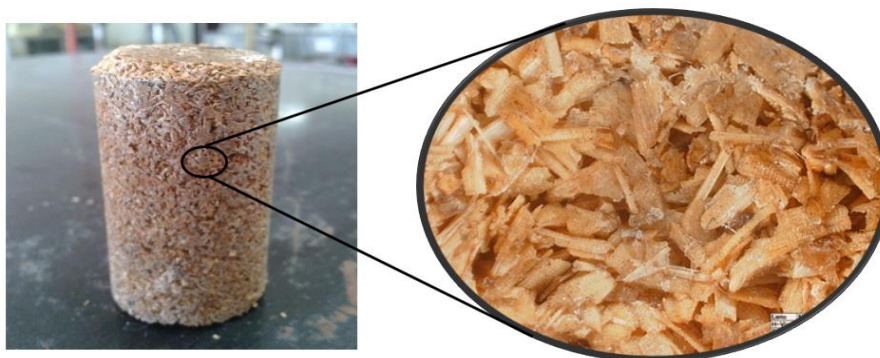


Figura 30. Micrografía (70X) de una probeta de aglomerado cilíndrico.



Figura 31. Micrografía (70X) de un aglomerado con restos de radiografía (desmoldante).

Cuando la mezcla de cascarilla de arroz y emulsión se someten a presión y calentamiento, el solvente se evapora y queda el polímero (poliestireno) aglomerando las fibras, como se observa en las micrografías de las Figuras 30 y 31. Se puede deducir, entonces, que a mayor cantidad de emulsión, mayor cantidad de polímero disponible que aglomere las fibras y rellene los poros de menor tamaño que no puede llenar la cascarilla.

3.6.1.2 Resistencia a agentes químicos

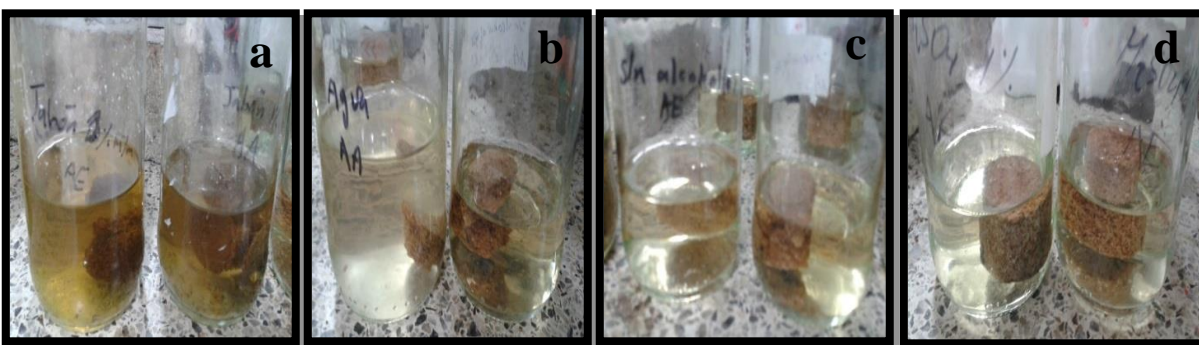


Figura 32. Pruebas de resistencia a soluciones al 10% de detergente (a), agua (b), alcohol industrial (c) y H_2SO_4 (d).

Teniendo en cuenta que el medio al que se exponen algunos materiales puede ocasionar daños en su estructura interna y externa, se realizaron pruebas donde se sometió al aglomerado durante 10 días al contacto con agua y los agentes químicos que se especifican en la Figura 32.

Se observa que hay mayor desprendimiento de color (lignina, proveniente de la cascarilla de arroz) principalmente en la solución de detergente, seguido por la solución de alcohol, la solución de H_2SO_4 y el agua. A pesar de que el poliestireno no es atacado por los compuestos en solución, incluidos ácidos y bases diluidas (Ardila, 2010), la celulosa y la lignina sí son susceptibles a reaccionar con los solventes de la prueba. Las probetas no se ven afectadas significativamente, aunque se observe pérdida de color probablemente de la lignina de la cascarilla.

3.6.1.3 Resistencia a agentes bióticos



Figura 33. Aglomerados de aceite esencial (AE) y acetato de amilo (AA) después de 30 días de sometimiento a la intemperie.

En la Figura 33 se observan dos aglomerados después de 30 días a la intemperie. El comportamiento del aglomerado frente a factores ambientales fue favorable, ya que no presenta ningún deterioro físico apreciable a simple vista, no hay presencia de moho ni de hinchamiento

por la humedad. Esto se debe a que el EPS es imputrescible, no enmohece y no se descompone, ni se ve atacado por las bacterias del suelo, pues no posee valor nutritivo alguno que fomente el desarrollo de microorganismos. Como la cascarilla de arroz tampoco presenta propiedades nutritivas significativas por su bajo contenido de celulosa (40% aproximadamente) y su alto contenido de sílice (de 12 a 16 %), hace que su descomposición sea lenta. Si la capa externa de polímero cubre todo el aglomerado, la cascarilla estará más protegida de los factores ambientales.

3.6.1.4 Inflamabilidad



Figura 34. Secuencia de inflamación del EPS.

Se comprobó la altísima inflamabilidad del EPS, que después de ser sometido a una llama quedó reducido a poliestireno quemado, produciendo una llama fuliginosa (hilos de hollín) y desprendimiento de olor característico (Figura 34).

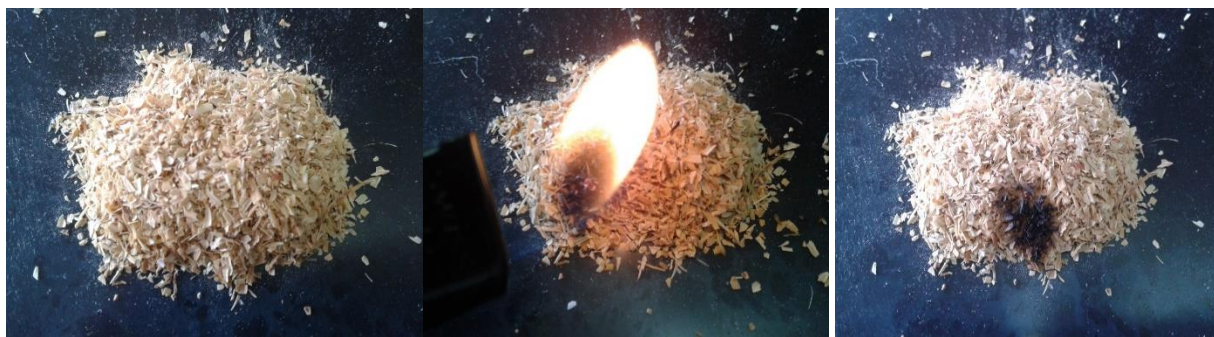


Figura 35. Secuencia de inflamación de la cascarilla de arroz.

Al someter a una llama la cascarilla de arroz usada en los aglomerados, se observa que es auto extingüible y no hay presencia de llama fuliginosa (ver Figura 35).



Figura 36. Inflamación del acetato de amilo y el aceite esencial de naranja, respectivamente.

Ambos compuestos son inflamables pero el aceite esencial de naranja resultó mucho más inflamable, dejando residuos carbonizados (ver Figura 36).



Figura 37. Inflamación de las emulsiones de acetato de amilo y aceite esencial de naranja, respectivamente.

A causa de la naturaleza inflamable de sus correspondientes fases continuas (solventes orgánicos), la emulsión de aceite esencial de naranja tuvo una respuesta mayor de inflamabilidad con respecto a la emulsión de acetato de amilo (ver Figura 37).



Figura 38. Prueba de inflamación para un aglomerado a base de emulsión de acetato de amilo.



Figura 39. Prueba de inflamación para un aglomerado a base de emulsión de aceite esencial de naranja.

Al someter a una llama los aglomerados, se forma una llama de combustión fuliginosa, auto extingible al momento de retirar de la fuente de ignición (propiedad de la cascarilla de arroz). Debido a que el aceite esencial es más inflamable que el acetato, el aglomerado de la Figura 39 prolongó unos segundos más su llama, antes de auto extinguirse.

3.6.1.5 Propiedades Mecánicas. Las propiedades mecánicas evaluadas fueron dureza shore y resistencia a la compresión. El ensayo de resistencia a la compresión arrojó una curva esfuerzo-deformación, de la cual fue posible calcular el Módulo de Young para cada uno de los

aglomerados. A continuación, se analizan los resultados obtenidos de los aglomerados con emulsión de acetato de amilo.

Tabla 7.

Condiciones de conformado y obtención de aglomerados a partir de acetato de amilo

Muestra	Emulsión	Cantidad emulsión (g)	Cantidad cascarilla (g)	Presión previa (Ton métrica/ 6 horas)	Presión durante calentamiento	Calentamiento (horas)
AAP1.1	AA1	35	30	No	No	Secado al aire 2 semanas
AAP1.2	AA1	35	30	No	No	5 horas a 125 °C
AAP1.3	AA1	35	30	1	Sí	Secado al aire 2 semanas
AAP1.4	AA1	35	30	1	Sí	5 horas a 125 °C
AAP2.1	AA1	40	40	No	No	5 horas a 125 °C
AAP2.2	AA1	40	40	1	Sí	Secado al aire 2 semanas
AAP2.3	AA1	40	40	1	Sí	5 horas a 125 °C
AAP3.1	AA3	30	10	1	Sí	5 horas a 125 °C
AAP3.2	AA3	30	10	1	Sí	5 horas a 125 °C

En la Tabla 7 se resumen las condiciones de conformado (tipo de emulsión y proporción emulsión/cascarilla) y tratamiento (presión y temperatura) de las probetas de aglomerados obtenidos con emulsión de acetato de amilo.

Tabla 8.*Propiedades mecánicas de aglomerados con emulsión acetato de amilo*

Muestra	Dureza	Módulo de Young (MPa)	Resistencia a la Compresión (MPa)
AAP1.1	25-30	-	-
AAP1.2	35-40	-	-
AAP1.3	45-50	115	6.33
AAP1.4	50-55	99.34	8.15
AAP2.1	25-30	-	-
AAP2.2	35-40	86.84	4.89
AAP2.3	50-55	49.40	7.12
AAP3.1	55-60	63.68	5.3
AAP3.2	50-55	49.51	4.28

Los resultados obtenidos en los ensayos de dureza y resistencia a la compresión se presentan en la Tabla 8. A continuación, se realizará un análisis para correlacionar las condiciones de conformado de las probetas de la Tabla 7 con los resultados de la tabla anterior.

Con las probetas AAP1.1, AAP1.2 y AAP2.1, no fue posible obtener datos de Módulo de Young ni resistencia a la compresión, debido a que las gráficas demuestran una ruptura de la probeta muy rápida. Cuando se presenta una rotura frágil existe normalmente poca o ninguna deformación plástica con poca absorción de energía en el proceso de rotura. El módulo de elasticidad de un material define la mayor o menor capacidad de deformarse bajo tensiones y puede ser interpretado como la rigidez, es decir, su resistencia a la deformación elástica, de tal modo que cuanto mayor es el módulo más rígido es el material. De lo anterior, se deduce que la

presión es un factor determinante en el conformado de este tipo de aglomerados, pues disminuye la porosidad y se distribuyen mejor los esfuerzos, aumentando su rigidez.

Al comparar los resultados obtenidos entre AAP1.3 y AAP1.4, se tiene que el secado del aglomerado al aire (25°C) favorece la obtención de un aglomerado con menor dureza, menos elástico y con menor resistencia a la compresión; comportamiento que es corroborado al comparar los resultados de AAP2.2 y AAP2.3. Esto se debe a que el calentamiento del aglomerado en el horno evapora la fase continua de la emulsión de la matriz polimérica y el agua, haciendo que quede el poliestireno expandido en estado sólido aglomerando las fibras de cascarilla de arroz y ocupando los espacios de la porosidad formada que la cascarilla no puede rellenar por su tamaño. Si el aglomerado se seca al aire, es posible que queden residuos de humedad y de solvente. El calentamiento en horno se hizo a 125°C porque el punto de ebullición del acetato reportado por el fabricante va desde 115-140°C (ver Apéndice A). Se deduce, entonces, que un secado en horno con una temperatura que garantice la evaporación del solvente de la emulsión, provee al aglomerado un mejor desempeño en estas pruebas físico-mecánicas.

Al correlacionar los resultados de la tabla 7 para los aglomerados AAP1.4, AAP2.3 y AAP3.2, donde se mantienen constantes todos los factores, excepto las proporciones de emulsión/cascarilla. Una mayor proporción de partículas de cascarilla dentro del aglomerado permite una mejor distribución de esfuerzos en el comportamiento elástico del mismo; al reducir la cantidad de agente aglutinante (la emulsión), se disminuye la resistencia a la compresión del aglomerado.

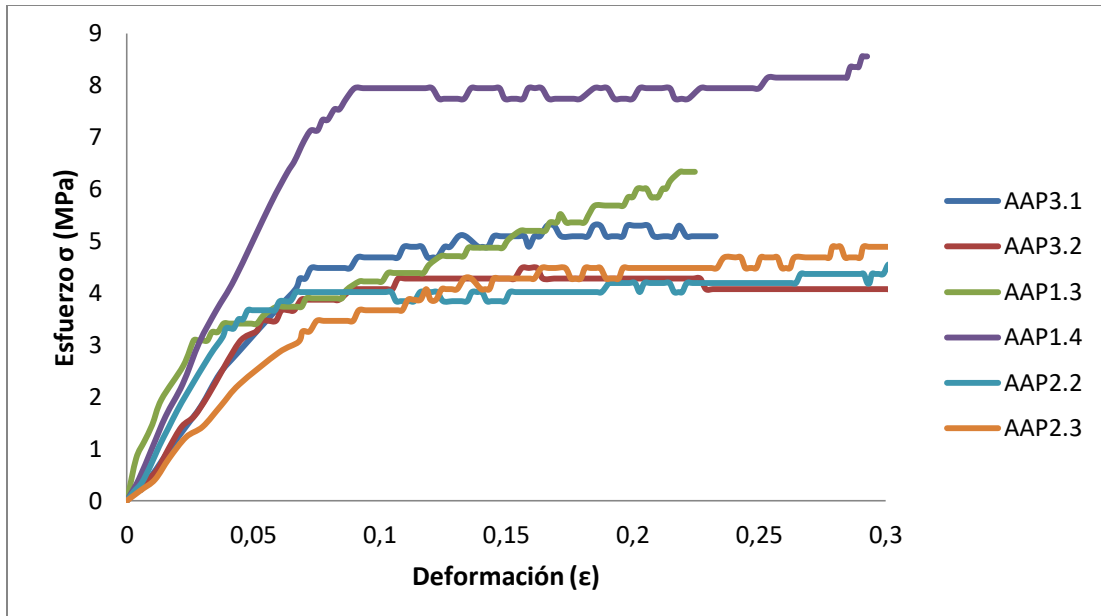


Figura 40. Curva esfuerzo-deformación para aglomerados obtenidos con emulsión de acetato de amilo.

En la Figura 40 se presentan las curvas de esfuerzo-deformación para los aglomerados obtenidos con acetato de amilo, donde se observa claramente su comportamiento elasto-plástico y la posibilidad de mover estas regiones con el proceso de conformado y obtención de los mismos, según las propiedades deseadas para las posibles aplicaciones de los aglomerados. Se observa que en cada una de las curvas se presenta un rango en el cual el esfuerzo es proporcional a la deformación. Después de este rango, se empieza a notar una cierta curvatura que indica el comienzo de una deformación plástica, la cual aumenta más rápidamente al aumentar la carga hasta que finalmente se presenta la ruptura de la probeta.

Tabla 9.*Condiciones de conformado y obtención de aglomerados a partir de aceite esencial de naranja*

Muestra	Emulsión	Cantidad emulsión (g)	Cantidad cascarilla (g)	Presión previa (Ton / 6 horas)	Presión durante calentamiento	Calentamiento (horas)
AEP1	AE1	20	10	No	Sí	5 horas a 165 °C
AEP2	AE2	20	10	1	Sí	5 horas a 165 °C
AEP3	AE2	20	10	1	Sí	3 horas a 170 °C
AEP4	AE2	20	10	1	No	5 horas a 165 °C
AEP5	AE2	20	10	1	Sí	5 horas a 165 °C
AEP6.1	AE3	30	10	1	Sí	5 horas a 170°C
AEP6.4	AE3	30	10	1	Sí	5 horas a 170°C

En la Tabla 9 se resumen las condiciones de conformado (tipo de emulsión y proporción emulsión/cascarilla) y tratamiento (presión y temperatura) de las probetas de aglomerados obtenidos con emulsión de aceite esencial de naranja.

Tabla 10.*Propiedades mecánicas de aglomerados con emulsión de aceite esencial de naranja*

Muestra	Dureza	Módulo de Young (MPa)	Resistencia a la Compresión (MPa)
AEP1	45-50	87.9	4.9
AEP3	50-55	160.59	5.84
AEP4	40-45	-	-
AEP5	50-55	239.88	5.46
AEP6.1	50-55	330.9	5.24
AEP6.4	50-55	375	10.3

Los resultados de los ensayos de dureza y resistencia a la compresión, se presentan en la Tabla 10. De manera similar a lo observado con los aglomerados con emulsión de acetato de amilo, la presión durante el conformado, ya sea previa o durante el calentamiento, ejerce gran influencia sobre las propiedades mecánicas de los aglomerados. En el caso de los aglomerados obtenidos con emulsión de aceite esencial de naranja, la dureza de las probetas AEP1 y AEP2, es inferior a las demás probetas, siendo estas a las que no se les ejerció presión en alguna de sus etapas de conformado. Y, tal como sucedió con las probetas AAP1.1, AAP1.2 y AAP2.1, la de menor dureza (AEP4) no arrojó resultados concluyentes en la prueba de resistencia a la compresión, por lo que no fue posible calcular ni esta propiedad ni el Módulo de Young. En este sentido, se tiene que sin presión previa al calentamiento, se obtienen aglomerados de menor dureza, mayor elasticidad y menor resistencia a la compresión (AEP1 comparada con AEP3), debido a que la matriz obtenida no es compacta.

Por otra parte, al comparar los resultados de AEP3 con AEP5 donde se mantienen constantes todos los factores, excepto el tiempo de secado en el horno, se observa que un mayor tiempo de calentamiento en la obtención del aglomerado favorece la pérdida de elasticidad, al tiempo que no afecta ni su dureza ni su resistencia a la compresión, en cuanto a que el calentamiento del aglomerado evapora la fase continua de la emulsión de la matriz polimérica, haciendo que quede el poliestireno expandido en estado sólido aglomerando las fibras de cascarilla de arroz que también pierde humedad al calentarse por encima de los 100°C.

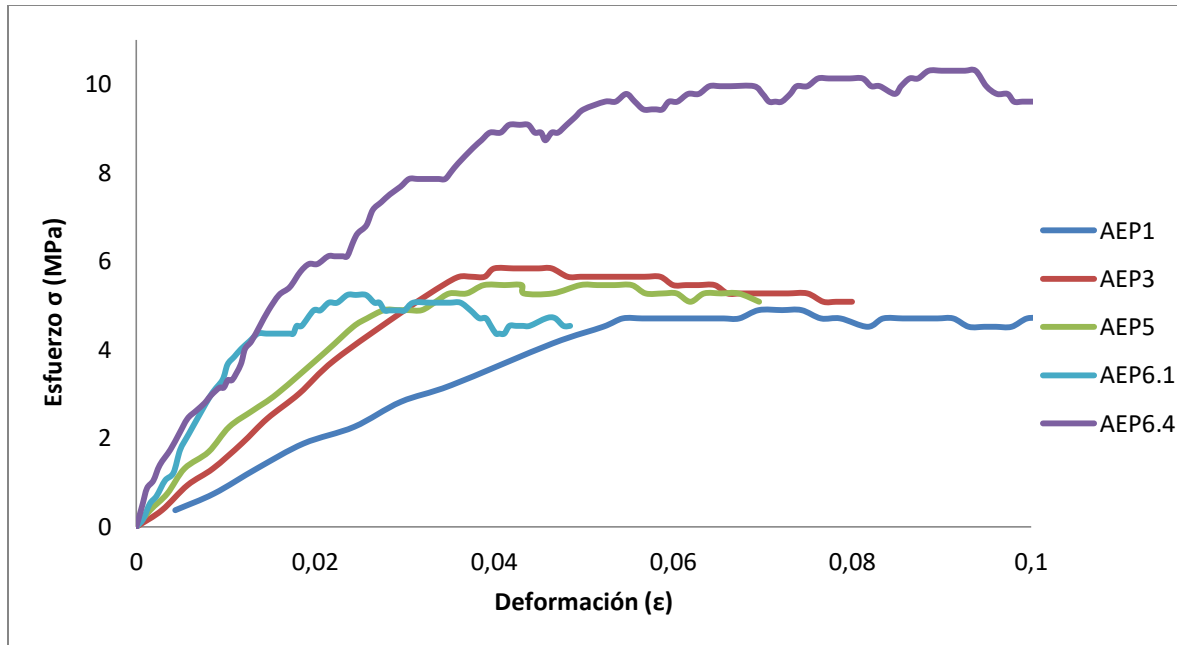


Figura 41. Curva esfuerzo-deformación para aglomerados obtenidos con emulsión de aceite esencial de naranja.

En la Figura 41, se presentan las curvas esfuerzo-deformación para los aglomerados obtenidos con emulsión de aceite esencial de naranja, donde se observa claramente su comportamiento elasto-plástico y la posibilidad de mover estas regiones con el proceso de conformado y obtención de los aglomerados.

En general, las diferencias en los resultados de los ensayos de las probetas pueden deberse a que las estructuras de las mismas no es uniforme. El proceso realizado de forma manual introduce variantes que en los métodos automatizados se minimizan en los productos comerciales. Según las pruebas mecánicas realizadas al material, se puede decir que posee dureza media, con una baja resistencia a la compresión pero que presenta un comportamiento dúctil, es decir, presenta grandes deformaciones antes de su rotura al aumentar la compactación en el proceso de conformado. La cascarilla de arroz provee un bajo peso y aumento en su resistencia

mecánica por el entrecruzamiento de fibras, dependiendo de su cantidad y proporciona resistencia térmica. El poliestireno de la emulsión aporta baja conductividad térmica y cohesión al aglomerado; una emulsión con mayor cantidad de polímero, hace que la matriz polimérica aglomere mejor las fibras de la cascarilla; el tiempo de horneado hace que se evapore la humedad y el solvente, confiriendo mejores propiedades físico-mecánicas; la presión demostró ser el factor más importante y decisivo en el proceso de conformado para obtener buenos resultados en los ensayos, al proveer un aumento en la compactación.

3.6.2 Pinturas

3.6.2.1 Pinturas con colorantes. A continuación, se expondrán los resultados de las formulaciones preliminares para pinturas aplicadas sobre distintas superficies. No se realizaron ensayos de adhesión, tiempo de secado, viscosidad, poder de cubrimiento, entre otros, porque no estaban previstos en los objetivos de este trabajo de investigación, por lo que solo se hizo una apreciación cualitativa de las mismas como base para trabajos posteriores.

Se aplicaron dos capas de pintura en superficies de vidrio, papel, pared blanca, ladrillo y metal para observar la adherencia a la superficie y el acabado.

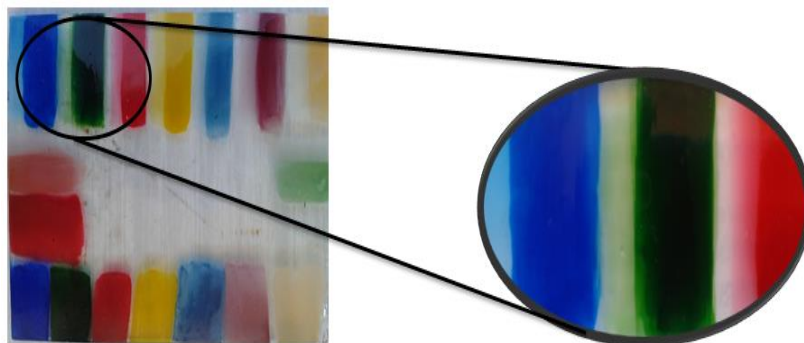


Figura 42. Prueba de pinturas con diferentes colorantes y pigmentos en superficie de vidrio

Las pinturas concentradas (mayor cantidad de colorante) presentaron un acabado similar al de un esmalte, buen brillo e intensidad del color y buena adherencia. Es posible que funcionen como esmaltes para hacer vitrales con olor agradable mientras el solvente se evapora lentamente (ver Figura 42).



Figura 43. Prueba de pinturas en pared blanca. En la parte superior está la pintura diluida a base de emulsión de aceite esencial, en la mitad las pinturas concentradas a base de emulsión de aceite esencial y en la parte inferior las pinturas concentradas a base de emulsión de acetato de amilo.

La aplicación de las pinturas en una pared lisa blanca dio un acabado similar al del vidrio pero con menos brillo. Presentaron buena adherencia e intensidad del color con un olor un poco más intenso que en el vidrio. Las pinturas con colorante hidrófilo quedaron más claras porque sólo hay dilución del colorante en la fase dispersa de la emulsión. Al cabo de dos semanas estaban más opacas, mientras que las pinturas con colorantes hidrofóbicos (disueltos en la fase continua de la emulsión) conservaron el brillo y el acabado plastificado (ver Figura 43).

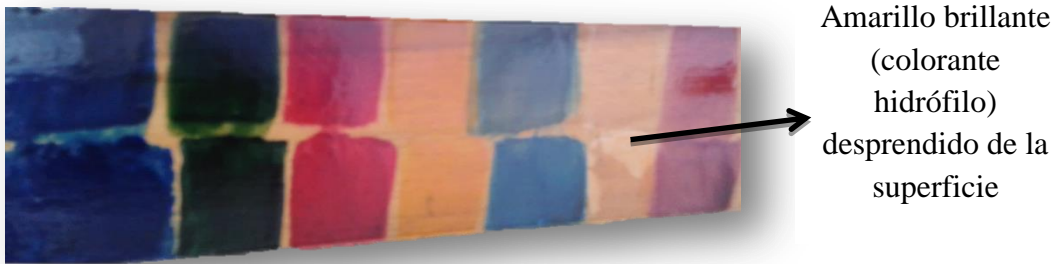


Figura 44. Aplicación de pinturas sobre madera. En la parte superior se usaron las pinturas con emulsión de aceite esencial y en la parte inferior las pinturas a base de acetato de amilo.

Los colorantes presentaron un buen acabado en madera por su brillo y plastificado, excepto las que tenían colorantes hidrófilos. Estos últimos quedaron opacos y al cabo de tres semanas se empezaron a desprender de la superficie las pinturas a base de emulsión de acetato de amilo (ver Figura 44).



Figura 45. Aplicación de pinturas sobre ladrillo. En la parte superior se usaron las pinturas con emulsión de aceite esencial y en la parte inferior las pinturas a base de acetato de amilo.

Sobre ladrillo presentan un buen acabado pero al cabo de dos semanas las pinturas a base de colorante hidrófilo con emulsión de acetato de amilo empieza a opacarse. Presentan brillo pero no se nota mucho la plasticidad (ver Figura 45).

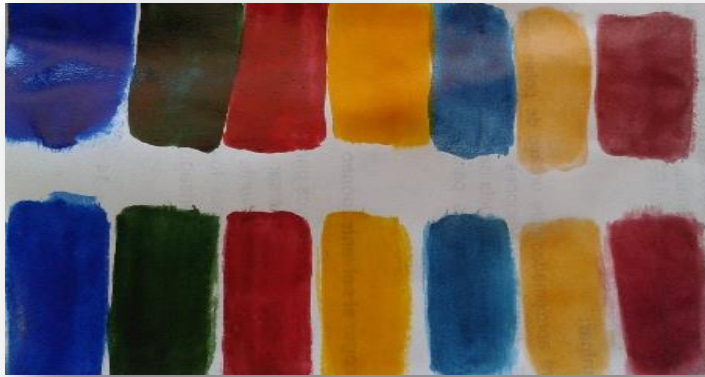


Figura 46. Aplicación de pinturas sobre papel bond. En la parte izquierda se usaron las pinturas con emulsión de aceite esencial y a la derecha las pinturas a base de acetato de amilo.

En papel bond se obtuvo el acabado más llamativo porque los colores quedaron muy brillantes y el plastificado (poliestireno) en la superficie confiere protección (Ver Figura 46). En el Apéndice H se adjuntan unas pinturas en papel bond y papel plastificado donde se aprecia la potencialidad de las pinturas en las artes plásticas. Las pinturas con colorantes hidrófilos dan un acabado diferente porque el colorante tiende a concentrarse en la parte dispersa de la emulsión, mientras que los colorantes hidrófobos si dan un acabado homogéneo.



Figura 47. Aplicación de pinturas con diferentes colorantes sobre metal.

La aplicación de las pinturas sobre metal también obtuvo un acabado vistoso, brillante y con buena capacidad cubriente, a simple vista. Dos meses después de su aplicación a la intemperie, continúan con la misma apariencia inicial.

3.6.2.2 *Pinturas con pigmentos*

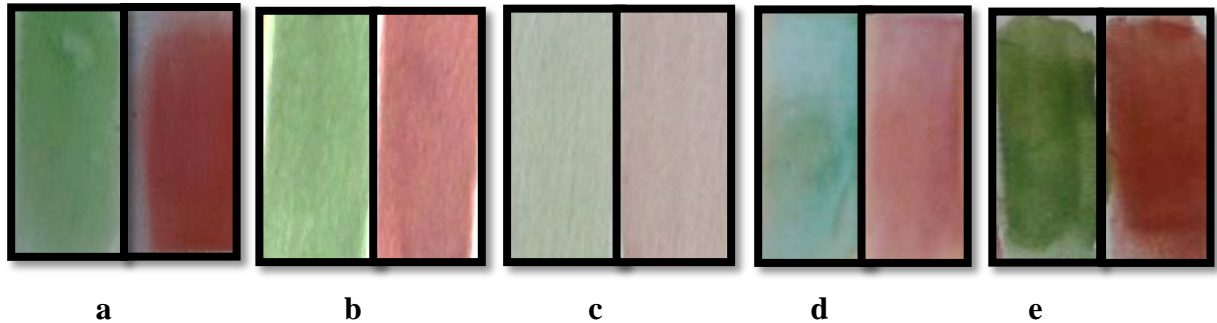


Figura 48. Pinturas con pigmentos rojo y verde aplicados en vidrio (a), pared (b), papel (c), madera (d) y ladrillo (e).

Las pinturas con pigmentos quedaron más opacas (Ver Figura 48). Dependiendo de la superficie donde fue aplicada, el color variaba. El caolín fue agregado para dar el fondo blanco y se notara más el color pero aun así el color queda muy diferente al colorante. Nótese que en la imagen (d) el acabado quedó similar a la acuarela y con un tono azul. En general, presentaron buena plasticidad y poco brillo.

4. CONCLUSIONES

Se formuló una emulsión de poliestireno expandido (EPS) disuelto en acetato de amilo que conserva su estabilidad por más de tres semanas.

Usando aceite esencial de naranja (*Citrus Sinensis*) como disolvente del EPS, se formuló una emulsión estable por más de cuatro semanas.

A partir de ambas emulsiones fue posible obtener aglomerados (madera plástica) de cascarilla de arroz con apariencia similar al corcho, con buena resistencia a agentes bióticos, baja inflamación y auto extingible, moldeo versátil, fácil de cortar y con propiedades similares a algunos productos comerciales como la TABLESA, MDF, cartón prensado, aunque se necesitan más estudios de propiedades fisicoquímicas, fisicomecánicas y de mecanizado para saber con cuáles de estos podría competir en el mercado.

Los factores que afectan las propiedades de los aglomerados son la cantidad carga (cascarilla de arroz), cantidad de emulsión, tipo de emulsión, presión aplicada y calentamiento durante el moldeo.

Se formularon pinturas genéricas con buen acabado y adherencia (por observación) en superficies como paredes, vidrio, ladrillo, madera, papel y metal, con olor agradable y baja toxicidad, debido al acetato de amilo y el aceite esencial de naranja, que son los componentes mayoritarios del producto.

Se encontró en este proyecto de investigación dos maneras útiles de reciclar el poliestireno expandido de manera simultánea con otros desechos como la cascarilla de arroz o las cáscaras

de naranja, con una buena proyección industrial para obtener un valor agregado para los mismos con los beneficios adicionales para el medio ambiente.

5. RECOMENDACIONES

Buscar otros aceites esenciales económicos que puedan disolver el EPS y a partir de ahí formularse otras emulsiones.

Realizar una inversión de fases en las emulsiones para obtener pinturas acuosas y reducir su costo de producción y el consumo de solventes orgánicos.

Realizar más ensayos físico-mecánicos a los aglomerados y encontrar otros factores que puedan afectar sus propiedades.

Buscar otro tipo de carga que reemplace la cascarilla de arroz y mejore las propiedades.

Realizar pruebas técnicas a las pinturas para caracterizarlas y encontrar aplicaciones más específicas.

Hacer la formulación completa para las pinturas buscando un producto comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, S. (2012). *Surfactants. Principles and Practice*. Recuperado de <http://www.stevenabbott.co.uk/practical-surfactants/basics.php>
- Acevedo, R., Ramírez, A. (2013). *Estudio para la elaboración de emulsiones a partir de poliestireno expandido post-consumo* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.
- Aguilera, J. M. (2011). *Ingeniería gastronómica*. Ediciones UC.
- Ardila, L., Castañeda, M. (2010). *Implementación de un proceso que utilice el poliestireno post-consumo contenido en residuos sólidos, para obtener aglomerados a partir de emulsiones de poliestireno* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.
- Bailey, A. E. (1984). *Grasas y aceites industriales*. Ed. Reverté, Barcelona, España, 264-268.
- Bandoni, Arnaldo (2000). *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica, su aprovechamiento industrial para la producción de aromas y sabores*. Argentina: Red de Editoriales Universitarias, 410.
- Cabrera, D., Camacho, O., Salvador, M., & Vásquez, S. T. (2016). *Adsorción del colorante anaranjado 2 GL sobre sílice activa elaborada a partir de cascarilla de arroz. Adsorption orange dye 2 GL on silica active made from rice husks*. *Ciencia e Ingeniería*, 37(3), 147-156.
- Calvo Carbonel, J. (2009). *Pinturas y Recubrimientos: Introducción a su tecnología*, Ed. Díaz de Santos.

- Centeno, P. E. M., Robayo, R. A., Diaz, J. E., Delvasto, S., & Monzó, J. M. (2015). *Aplicación de ceniza de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricación de bloques en concreto no estructurales (application of rice husk ash obtained from agro-industrial process for the manufacture of nonstructural concrete blocks)*. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 285-294.
- Dabbah, R., Edwards, V. M., & Moats, W. A. (1970). *Antimicrobial action of some citrus fruit oils on selected food-borne bacteria*. Applied microbiology, 19(1), 27-31.
- Dupont, D. H., & Gokel, G. G. (2007). *Química orgánica experimental*. 1a. Edición, Reverté. España, 218-220.
- Espectro IR del nonilfenol. Recuperado de http://sdfs.db.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi
- Fahlbusch, K. G., Hammerschmidt, F. J., Panten, J., Pickenhagen, W., Schatkowski, D., Bauer, K., ... & Surburg, H. (2003). *Flavors and fragrances*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- García, M. T., Duque, G., Gracia, I., de Lucas, A., & Rodríguez, J. F. (2009). *Recycling extruded polystyrene by dissolution with suitable solvents*. Journal of material cycles and waste management, 11(1), 2-5.
- Guédez, C., Cañizalez, L., Avendaño, L., Scorza, J., Castillo, C., Olivar, R., ... & Sánchez, L. (2014). *Actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (Citrus sinensis L.) sobre hongos postcosecha en frutos de lechosa (Carica papaya L.)*. Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología, 34(2).

- Guevara, M. (1995). *Caracterización y evaluación de la cascarilla de arroz como combustible*. Trabajo de grado Ingeniero Agroindustrial. Santa Fe de Bogotá: Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería.
- Gooch, J. W. *Encyclopedic Dictionary of Polymers* Springer-Verlag 2007, 6.
- Herrera, G. M. D., Anaguano, A. H., & Suarez, D. G. (2013). *Caracterización estructural de la cascarilla de arroz modificada como adsorbente alternativo y eficiente para la remoción de Cr (VI) en solución/Structural characterization of the husks from modified rice as an alternative absorbant and effective for the removal of Cr (VI) in solution/Caracterização estrutural de cascas de arroz modificados como adsorvente alternativo e eficiente para a remoção do Cr (VI) em solução*. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(1), 21.
- Kim, H. S., Lee, B. H., Choi, S. W., Kim, S., & Kim, H. J. (2007). *The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites*. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(6), 1472-1483.
- Kim, J. W., Lee, D., Shum, H. C., & Weitz, D. A. (2008). *Colloid surfactants for emulsion stabilization*. *Advanced materials*, 20(17), 3239-3243.
- Ledesma, E. F., Acosta, C. R., Garrido, M. L., González, M. C., Bernal, M. M., Pileta, X. R., ... & Bartolo, P. (2012). *Characterisation of the rice production waste for the use in pharmaceutical industry*. *Cellulose*, 25, 35-50.

- León-Bermúdez, A. Y., & Salazar, R. (2008). *Synthesis and characterization of the polystyrene-asphaltene graft copolymer by FT-IR spectroscopy*. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro, 3(4), 157-167.
- López C. A. (2012) *Modelo de Estabilidad de Emulsiones Poliméricas/Model of Polymers Emulsion's Stability* (Doctoral dissertation), Universidad Nacional de Colombia, 3-15.
- López, D., Rhenals, P., Tangarife, M., et. al (2014). *Tratamiento de residuos de poliestireno expandido utilizando solventes verdes*. Universidad Pontificia Bolivariana. Revista Investigaciones Aplicadas. (8), 1-9.
- Lugo, Y., Sánchez, T. (2015) *Emulsiones*. Departamento de Fisicoquímica, UNAM. México. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/emulsiones_113.pdf
- Luna, H. (2007). *Obtención, caracterización y estudio de la desterpenación del aceite esencial de naranja (Citrus sinensis)* (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, 68. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2007/122629.pdf>
- Mafla, A. (2009). *Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción*. Revista Inventum, (6), 74-78.
- Mangalara, S. C. H., & Varughese, S. (2016). *Green Recycling Approach To Obtain Nano-and Microparticles from Expanded Polystyrene Waste*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 4(11), 6095-6100.

- Noguchi, T., Miyashita, M., Inagaki, Y., & Watanabe, H. (1998). *A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent. Part 1. A new recycling technique*. *Packaging Technology and Science*, 11(1), 19-27.
- Noguchi, T., Tomita, H., Satake, K., & Watanabe, H. (1998). *A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent. Part 3. Life cycle assessment*. *Packaging Technology and Science*, 11(1), 39-44.
- Pachón, D., Uribe, Z. (2008). *Utilización de poliestireno post-consumo como aditivo en pinturas tipo laca piroxilina* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander.
- Pascuali, R. (2009). Seminario sobre emulsiones. Recuperado de <http://www.slideshare.net/zinzita/emulsiones>
- Piñeros Castro, Y., Otálvaro, A., María, Á., Rosario, C., María, A., Cortés, W., ... & Velasco, G. A. (2017). *Aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de la cascarilla de arroz*.
- Poletto, M., Júnior, H. L. O., & Zattera, A. J. (2014). *Expanded polystyrene: thermo-mechanical recycling, characterization and application*. *Synthesis, characteristics and applications*, 53.
- Quiceno Villada, D., Gutiérrez, M., & Yair, M. (2012). *Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible* (Bachelor's thesis, Universidad Autónoma de Occidente).
- Quintero, C. (2013). *Reciclaje termo-mecánico del poliestireno expandido (Icopor), como una estrategia de mitigación de su impacto ambiental en rellenos sanitarios*. Universidad de Manizales.

- Raman, B., & Gutierrez-Osuna, R. (2009). *Biologically Inspired Signal Processing for Chemical Sensing*.
- Riaño, A. M. S. (2010). *Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos*. Revista Tumbaga, 1(5).
- Rodríguez, J. E., Vivas, G., & Montalvo, L. (1992). *Fuentes Biológicas de Silicio: Cascarella de arroz*. Unicauca Ciencia, 1-4.
- Rougeron, C. (1977). *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Reverte.74-77.
- Schmidt, P. N. S., Cioffi, M. O. H., Voorwald, H. J. C., & Silveira, J. L. (2011). *Flexural test on recycled polystyrene*. Procedia Engineering, 10, 930-935.
- Schramm, L. L. (1992). *Emulsions: fundamentals and applications in the petroleum industry*. Advances in Chemistry Series, 321.
- Sierra Aguilar, J. (2010). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarella de arroz en Colombia* (Doctoral dissertation).
- Susana, C. P. (1997). *Petroquímica y sociedad*. ISBN 968-16-5430-7. México.
- Tawfik, M. E., Eskander, S. B., & Nawwar, G. (2017). *Hard wood-composites made of rice straw and recycled polystyrene foam wastes*. Journal of Applied Polymer Science, 134(18).
- Torres, O. (2004). *Reciclaje de la espuma de poliestireno mediante el uso de d-limoneno* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, 16-21.

Subramanian, P. M. (2000). *Plastics recycling and waste management in the US*. Resources, Conservation and Recycling, 28(3), 253-263.

Valverde, A., Sarria, B., & Monteagudo, J. P. (2007). *Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz*. Scientia et Technica, 1(37).

Vector portal. Símbolo de poliestireno 6. Recuperado de <https://www.vectorportal.com/es/gratuitos/S%C3%ADmbolos/Reciclar/S%C3%8DMBOLO-DE-POLIESTIRENO-6/6861.aspx>

Viera, R., Filho, G., Assuncao, R., Meireles, S., Vieira, J., and Oliveira, G. (2007). *Synthesis and characterization methylcellulose from sugar cane bagasse cellulose*. Carbonhydrate polymers, (67), 182-189.

Weebly (2015). *Emulsion*. Recuperado de <https://fudandstuff.weebly.com/emulsion.html>

Wünsch, J. R. (2000). *Polystyrene: Synthesis, production and applications* (Vol. 112). iSmithers Rapra Publishing.

Yikrazuul (2008). Unidad de repetición del poliestireno. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno#/media/File:Polystyrene.svg>

Zitko, V. (1993). *Expanded polystyrene as a source of contaminants*. Marine Pollution Bulletin, 26(10), 584-585.

APÉNDICES

APÉNDICE A:

Ficha Técnica del Acetato de Amilo

<p>FICHA TECNICA ACETATO DE AMILO ACEITE DE BANANO</p>

1. DESCRIPCION:

Líquido claro, incoloro; olor característico a fruta (banano).

2. ESPECIFICACIONES:

- SOLUBILIDAD: inmiscible en agua, miscible en alcohol, éter y acetato de etilo.
- CONTENIDO DE ESTERES: 95% mínimo
- PESO ESPECIFICO: 0.866 a 18°C
- RANGO DE EBULLICION (°C): 115-140
- % DE ACIDEZ (Expresada como acido acético): 0.01% máximo
- %HUMEDAD: Menor de 0.5%

3. USOS

- Intensificador de olores y sabores.
- Agente aromatizante.
- Se usa en impresión y acabado de textiles.

4. PRESENTACION COMERCIAL:

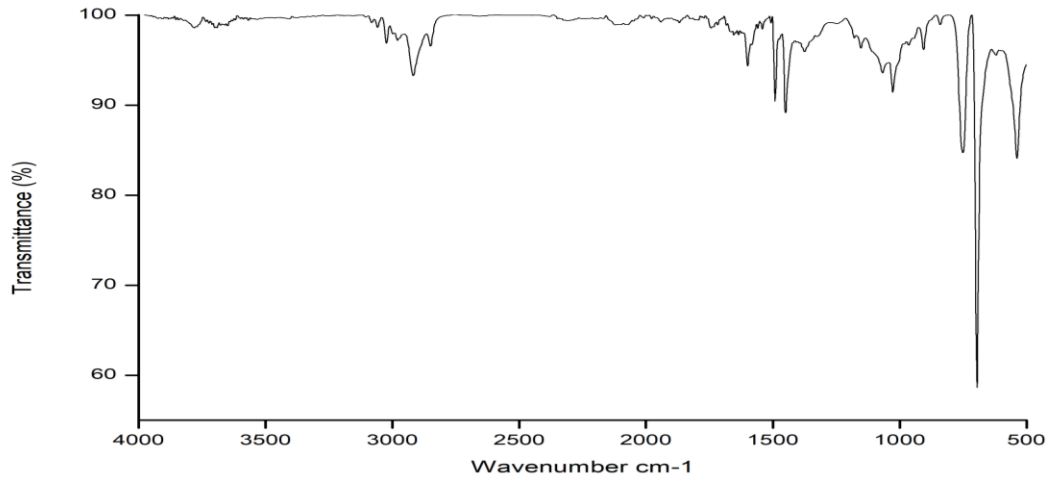
- FRASCO X 500 mL
- GALON

APÉNDICE B:

Análisis de espectros infrarrojo de materiales

- Análisis de espectro IR del poliestireno expandido (EPS).

En la siguiente figura se presenta el espectro IR obtenido del EPS y en la tabla se correlacionan los picos y regiones características con el tipo de vibración. Del análisis espectral se puede concluir que la información obtenida es muy similar al espectro reportado del EPS tomado por León-Bermúdez & Salazar (2008).



Espectro IR de una muestra de EPS usado en el trabajo de investigación.

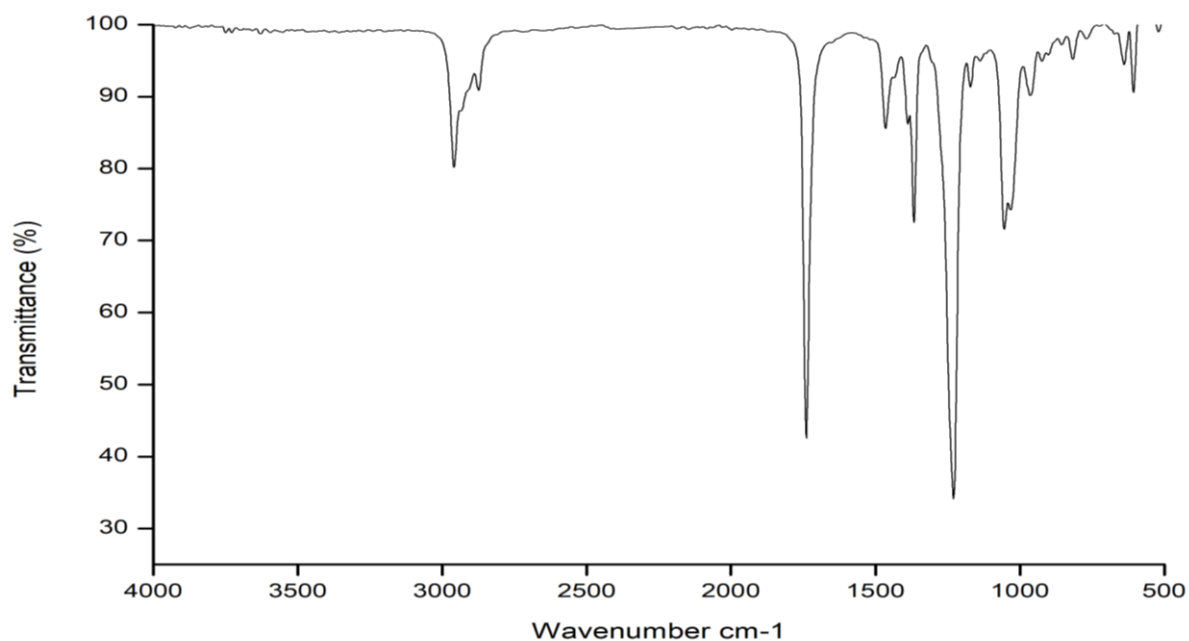
APÉNDICE B. Continuación.

Relación entre el número de onda de vibraciones características y tipo de vibración para el espectro del EPS.

Número de onda [cm^{-1}]	Tipo de vibración
3060,01 – 3022,80	Tensión aromática C-H
2918,90 – 2849,11	Estiramiento de las moléculas de CH_2
1600,31	Vibración de tensión del esqueleto aromático
1491,22 - 1449,55	Deformación de tijera del CH_2
1432,58	Tensión del enlace -C=C- del anillo aromático
2098,20 – 1720,10	Monosustitución del anillo aromático
749,32	Banda -C-H debido a flexión fuera del plano
697,23	Flexión C-H fuera del plano
538,15	Flexión C-H fuera del plano

- Análisis de espectro IR del acetato de amilo.

En la siguiente figura se presenta el espectro IR obtenido del acetato de amilo y en la tabla se correlacionan los picos y regiones características con el tipo de vibración. Del análisis espectral se puede concluir que la información obtenida es muy similar al espectro del acetato de amilo reportado por Raman & Gutiérrez-Osuna (2009) y no se observa absorción de agua.

APÉNDICE B. Continuación.

Espectro IR del acetato de amilo usado como solvente del EPS.

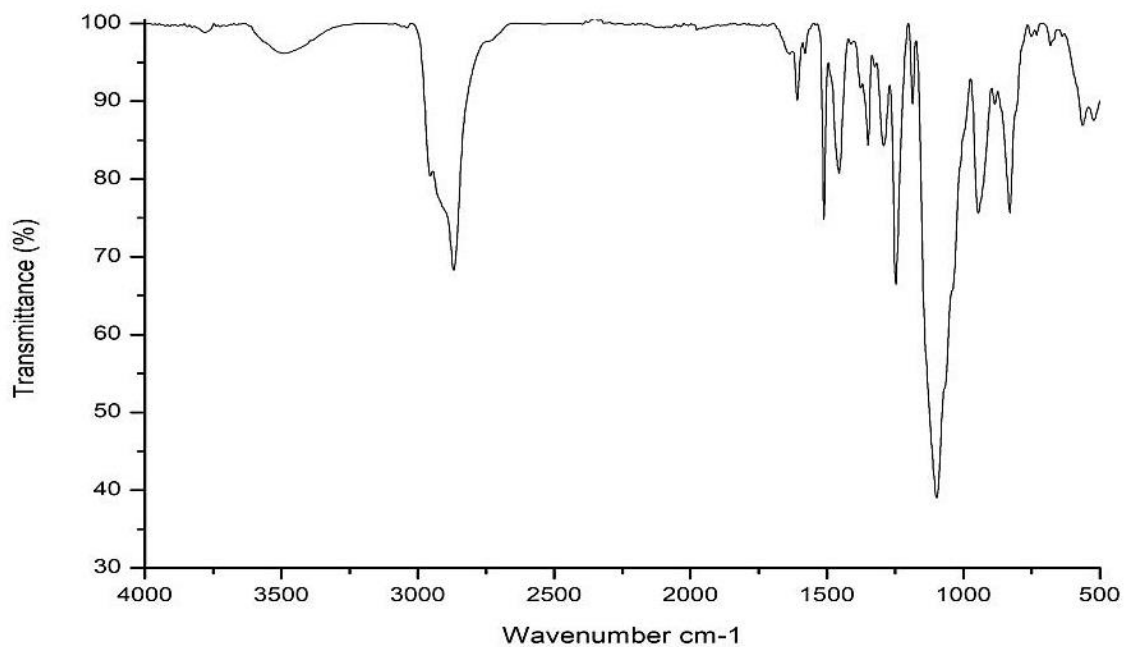
Relación entre el número de onda de vibraciones características y tipo de vibración para el espectro del acetato de amilo.

Número de onda [cm^{-1}]	Tipo de vibración
2978,25 – 2883,32	Tensión C-H del alcano
1737,43	Estiramiento del enlace C=O del éster
1398,35	Tensión C-H del CH_3 del alcano
1120,54	Tensión C-O del éster
1050,33	Tensión aromática del C-O
610,64	Flexión C-H fuera del plano

APÉNDICE B. Continuación.

- Análisis de espectro IR del nonilfenol.

En la siguiente figura se presenta el espectro IR del nonilfenol y en la tabla se correlacionan los picos y regiones características con el tipo de vibración. Al no encontrarse una publicación con el espectro correspondiente, se recurrió a la Base de Datos para Compuestos Orgánicos SDBS (2013).



Espectro IR del nonilfenol usado como tensoactivo en la emulsión.

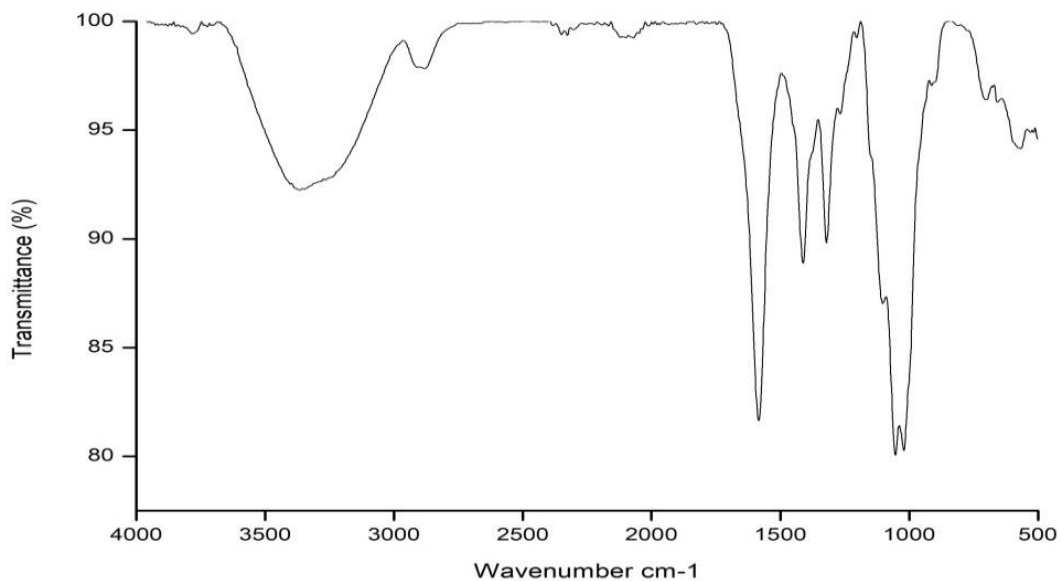
APÉNDICE B. Continuación.

Relación entre el número de onda de vibraciones características y tipo de vibración para el espectro del nonilfenol.

Número de onda [cm⁻¹]	Tipo de vibración
3501,24	Banda tensión O-H del fenol
2901,56 – 2882,32	Tensión C-H de la cadena alifática
1610,34	Tensión del enlace -C=C- del anillo aromático
1510,65 -1250,75	Vibraciones O-H del fenol
1100,12	Tensión del C-O
952,54 -715,64 , 580,21	Flexiones C-H fuera del plano

- Análisis de espectro IR de la carboximetilcelulosa (CMC).

En la siguiente figura se presenta el espectro IR obtenido de la carboximetilcelulosa y en la tabla se correlacionan los picos y regiones características con el tipo de vibración. Del análisis espectral se puede concluir que la información obtenida es muy similar al espectro de la carboximetilcelulosa reportada por Viera et al. (2007).

APÉNDICE B. Continuación.

Espectro IR de la carboximetilcelulosa usada como coloide protector en la emulsión.

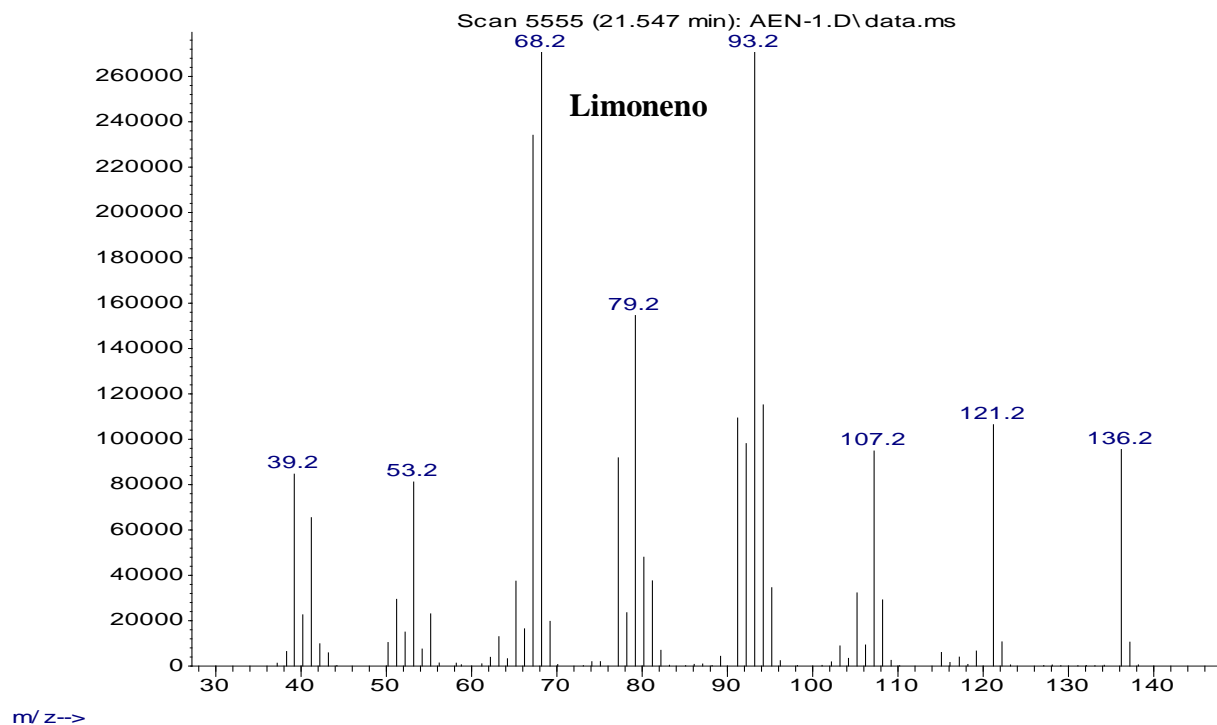
Relación entre el número de onda de vibraciones características y tipo de vibración para el espectro de la carboximetilcelulosa usada como coloide protector.

Número de onda [cm ⁻¹]	Tipo de vibración
3365,87	Tensión -OH de H intra e intermolecular de la celulosa
2883,68	Tensión C-H del CH ₂ y CH ₃ de celulosa
1584,15	Tensión del enlace C=O
1411,76 – 1321,41	Tensión C-H del CH ₂
1053,74 – 1020,69	Alargamiento simétrico de bandas C-O del alcohol
703,08 – 491,92	Flexiones C-H fuera del plano

APÉNDICE C:

Cromatograma del Aceite Esencial de naranja (Citrus Sinensis)

Abundance



Cuantificación de los picos principales del cromatograma

Tiempo ret.	Área	Nombre	%Área
17,199	1362722	α -pineno	0,64941859
18,953	1014356	Sabineno	0,48340134
19,585	4506628	Mirceno	2,14767797
20,203	887827	Octanal	0,4231027
21,569	197523110	Limoneno	94,1315839
24,252	2950149	Linalool	1,40592257
25,28	238707	trans-p-Menta-2,8-dien-1-ol	0,11375817
25,711	767602	Oxido cis-limoneno	0,36580829
25,868	586131	Oxido trans-limoneno	0,2793265
Total	209837232	-	100

APÉNDICE D:**Ficha técnica del colorante azul brillante de tipo liófilo.****FICHA TÉCNICA****COLOR AZUL
BRILLANTE****IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA**

SUQUIN LTDA

www.suquin.com.co

Bucaramanga/Santander

Calle 31 N° 20-43

Teléfonos: 6335068, 6978212

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Colorante artificial en polvo.

ÁREAS DE APLICACIÓN

Colorante usado en la elaboración de ambientadores, limpiadores, desinfectantes, detergentes y productos de industria en general.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDAD	VALOR
Nombre Químico	Color azul brillante
Aspecto	Polvo
Color	Azul según clasificación
Olor	Característico
Solubilidad	Soluble en agua

APÉNDICE E:**Ficha técnica del colorante azul de tipo lióforo.****FICHA TÉCNICA****AZUL A LA GRASA 2Y****IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA****SUQUIN LTDA**www.suquin.com.co**Bucaramanga/Santander****Calle 31 N° 20-43****Teléfonos: 6335068, 6978212****DESCRIPCIÓN**

Los Colorantes a la grasa se utilizan con una gran variedad de solventes. Las solubilidades están expresadas en una escala relativa: Muy soluble, soluble, poco soluble; o en porcentaje de solubilidad, que representa el peso del colorante en gramos por 100 mL de solvente en el cual el colorante permanece disuelto a temperatura ambiente. El colorante se aplica lentamente a una temperatura máxima de 65-70 grados centígrados, agitando continuamente para lograr una perfecta homogenización.

ÁREAS DE APLICACIÓN

En lacas y barnices para madera. Tintas para rotograbado, para recubrimiento y grabado de papelería, cintas para máquinas, tintas para bolígrafos, así como tintas que actúan como opacificantes o abrillantadores. En gasolinas, grasas, aceite y ceras, para todo tipo de velas, veladores, ceras de sellado y pulimentos de gran variedad de materiales. En la industria del cuero para la producción de "anilinas" y "semianilinas" sobre los cueros y en acabado en aerosol para curtido de gamuza. De menor uso o más especializado para dar color a aceites provenientes del petróleo y para humos de señalamiento. Los colorantes son usados normalmente en plásticos transparentes (Poliestireno, Policarbonato, Acrílicos), así como en productos que requieren poco acabado. Debe tomarse en cuenta la alta solubilidad para la utilización de los colorantes a la grasa.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDAD	VALOR
Nombre Químico	Azul a la Grasa 2Y
Apariencia	Polvo fino
Color	Azul brillante
Punto de fusión	112 °C

APÉNDICE F:

Especificaciones técnicas para otros colorantes usados.

1. Rojo Carmosina

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDAD	VALOR
Nombre Químico	Color Rojo Carmosina
Aspecto	Polvo
Color	Rojo según clasificación
Olor	Característico
Solubilidad	Soluble en agua

Certificado de Análisis



3205	AZORRUBINA ROJO NO.5 COLORANTE GRADO...
Información del lote	
Número de Lote:	1709141441333576
Fecha de fabricación:	14-SEP-2017
Utilizar antes de:	14-SEP-2019
País Origen:	INDIA
Fabricante / Distribuidor	VIDHI DYESTUFFS MFG. LTD
Información de Pedido	
Número de Pedido:	PEDVE 11614
Identificación del Cliente:	NIT: 8040029579
Nombre del Cliente:	SUQUIN LIMITADA
Cantidad:	15.000 Kg
Información del Producto	
Manipulación:	Proteger de la luz
Descripción:	COLORANTES
Color:	ROJIZO - ROJO PARDO
Apariencia:	POLVO FINO

ANÁLISIS	ESPECIFICACIONES		RESULTADOS
EVALUACIÓN SENSORIAL	IGUAL AL ESTÁNDAR DE REFERENCIA		CONFORME
CONTENIDO COLORANTE PURO %	85.0000	95.0000	89.2500
MATERIAL VOLATIL Y SALES %	0.0000	13.0000	10.1800
INSOLUBILIDAD EN AGUA %	0.0000	0.2000	0.1000
CONCENTRACION DE ETER %	0.0000	0.2000	0.0600
COLORANTES SECUNDARIOS %	0.0000	1.0000	0.2200
COLORANTES INTERMEDIOS %	0.0000	0.5000	0.1000
TOTAL AMINAS PRIMARIAS %	0.0000	0.0100	0.0010
METALES PESADOS(PB) (PPM)	0.0000	40.0000	10.0000
PLOMO (PPM)	0.0000	10.0000	0.0000
ARSENICO (PPM)	0.0000	3.0000	0.0000
MERCURIO (PPM)	0.0000	1.0000	0.0000

APÉNDICE F. Continuación.

2. Rojo a la grasa

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDAD	VALOR
Nombre Químico	Rojo a la Grasa 2Y
Apariencia	Polvo fino
Color	Rojo azuloso
Punto de fusión	184°C

Artículo 011 0010863
 ROJO NOVAPRONOL A LA GRASA 24 R CAJA 1 KG

Lote : 11800036381

Fecha Produccion : 15-JUN-17

Fecha Vencimiento : 24-JUL-21

Prueba	Und Prueba	Resultado	Min	Máx
DE (DIFERENCIA DE TONO VS STANDAR)	Adim	,3000	,0000	1,0000
STRENGTH(%) (INTENSIDAD DE COLOR VS STANDAR)	%	100,7700	97,0000	103,0000
DH (MATIZ VS STANDAR)	Adim	-,0900	-1,0000	1,0000
DC (SATURACION VS STANDAR)	Adim	-,2300	-1,0000	1,0000

APÉNDICE F. Continuación.**3. Amarillo a la grasa****ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

PROPIEDAD	VALOR
Nombre Químico	Amarillo a la Grasa 2Y
Apariencia	Polvo fino
Color	Amarillo rojizo
Punto de fusión	113.5-115°C

4. Amarillo huevo

FICHA TÉCNICA

**COLOR
AMARILLO
HUEVO**

IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

SUQUIN LTDA

www.suquin.com.co

Bucaramanga/Santander

Calle 31 N° 20-43

Teléfonos: 6335068, 6978212

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Colorante artificial en polvo.

ÁREAS DE APLICACIÓN

Colorante usado en la elaboración de productos alimenticios en general.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

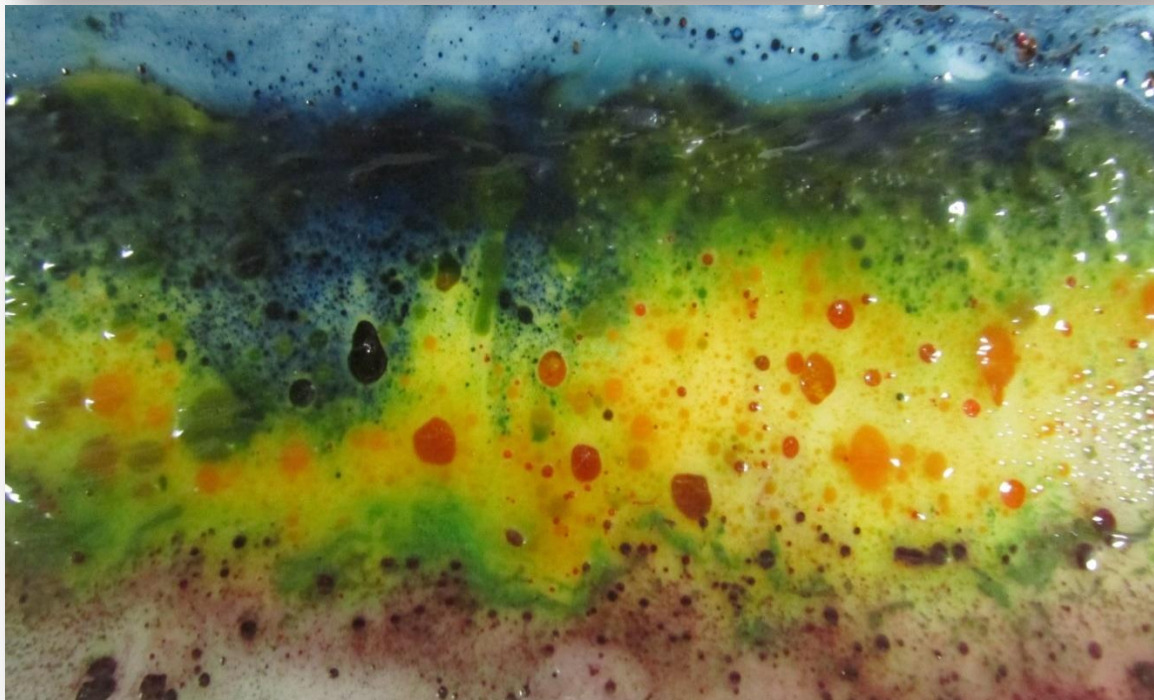
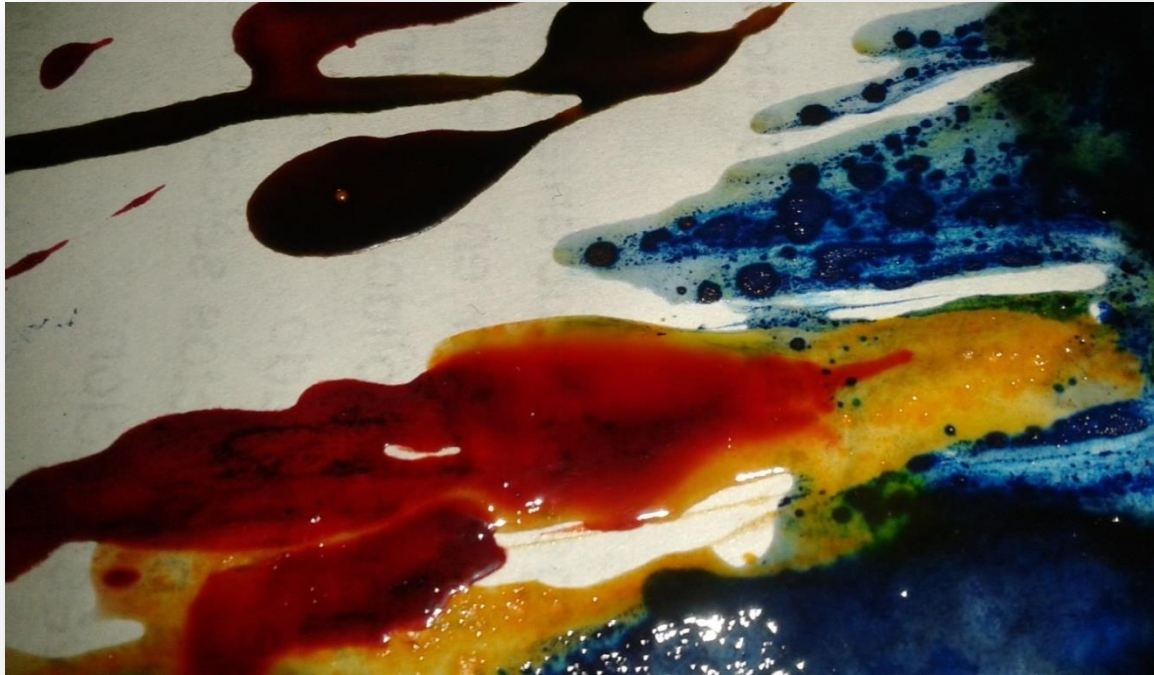
PROPIEDAD	VALOR
Nombre químico	Color amarillo huevo
Apariencia	Polvo
Color	Amarillo conforme estándar
Olor	Inoloro
Humedad	1.9

APÉNDICE G:**Características de preparación de los aglomerados obtenidos con cada emulsión.**

Tipo de emulsión según solvente	Nombre de probeta	Emulsión	Cantidad emulsión (g)	Cantidad cascarilla (g)	Presión previa (Tonelada métrica)	Presión durante calentam.	Calentamiento (horas)
ACETATO DE AMILO	AAP1.1	AA1	35	30	No	No	Secado al aire 2 semanas
	AAP1.2	AA1	35	30	No	No	5 horas a 145 °C
	AAP1.3	AA1	35	30	1 (1 hora)	Sí	Secado al aire 2 semanas
	AAP1.4	AA1	35	30	1 (1 hora)	Sí	5 horas a 145 °C
	AAP2.1	AA1	40	40	No	No	5 horas a 145 °C
	AAP2.2	AA1	40	40	1 (1 hora)	Sí	Secado al aire 2 semanas
	AAP2.3	AA1	40	40	1 (1 hora)	Sí	5 horas a 145 °C
	AAP3.1	AA3	30	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 145 °C
	AAP3.2	AA3	30	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 145 °C
	AAP3.3	AA3	30	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 145 °C
ACEITE ESENCIAL DE NARANJA	AEP1	AE1	20	10	No	Sí	5 horas a 165 °C
	AEP2	AE2	20	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 165 °C
	AEP3	AE2	20	10	1 (6 horas)	Sí	3 horas a 165 °C
	AEP4	AE2	20	10	1 (6 horas)	No	5 horas a 165 °C
	AEP5	AE2	20	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 165 °C
	AEP6.1	AE3	30	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 170°C
	AEP6.2	AE3	30	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 170°C
	AEP6.3	AE3	30	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 170°C
	AEP6.4	AE3	30	10	1 (6 horas)	Sí	5 horas a 170°C

APÉNDICE H:

Pinturas con colorantes hidrófilos sobre papel bond y papel plastificado.



APÉNDICE H. Continuación.

Pinturas con colorantes hidrófobos sobre papel bond y papel plastificado.

