

ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DEL ALMIDON
DE YUCA NATIVO, (*Manihot sculenta crantz*), VARIEDAD M-TAI, UTILIZANDO
HIDROXIDO DE SODIO COMO AGENTE HIDROLIZANTE

PROPUESTA DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL, MODALIDAD INVESTIGATIVA

MOISÉS HERNÁNDEZ RUIZ
ANDRES VERGARA NARVAEZ

LINEA DE INVESTIGACION

Transformación y conservación de materias primas de origen vegetal.

GRUPO DE INVESTIGACION

Procesos Agroindustriales y Desarrollo sostenible (PADES)

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO, SUCRE

2008

ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ADHESIVO A PARTIR DEL ALMIDON
DE YUCA NATIVO, (*Manihot sculenta crantz*), VARIEDAD M-TAI, UTILIZANDO
HIDROXIDO DE SODIO COMO AGENTE HIDROLIZANTE

PROPUESTA DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL, MODALIDAD INVESTIGATIVA

MOISÉS HERNÁNDEZ RUIZ
ANDRES VERGARA NARVAEZ

DIRECTOR
JAIRO SALCEDO MENDOZA
ING QUIMICO
ESPECIALISTA EN CIENCIAS AMBIENTALES

CODIRECTOR
ALFREDO FERNANDEZ QUINTERO
ING. PESQUERO
ESP. CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO, SUCRE

2008

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, Mes (11) de 2008

***“Únicamente los autores son responsables de las
Ideas expuestas en el presente trabajo”***

DEDICATORIA

Agradezco principalmente a Dios por haberme dado sabiduría, fortaleza y disciplina en todo este proceso de aprendizaje continuo, a mi familia, amigos y a todos aquellos que de una u otra forma me ayudaron en todo este camino, una y mil gracias.

Andrés

A Dios padre que me acompaña y me fortalece en todo momento.

A mi padre Marcos Hernández Vergara (q.e.p.d) por darme todo su apoyo incondicional para que este sueño se hiciera realidad.

A mi hermana del alma Eliana Marcela por no desfallecer y continuar el largo camino.

A mi motivo, motor, ilusión, sueño, fuerza, Amor y el porqué cada día debo ser mejor, ALEJANDRO DAVID, mi HIJO.

De manera especial a la gestora y participe de que este logro sea palpable mi Madre ELIANA RUIZ MARQUEZ, fuiste un gran apoyo en todo momento, no desfalleciste, fuiste Luz en la noche oscura, me tendiste tu mano cuando lo necesite, tu esfuerzo es irrecompensable.

También a la tribu agroindustrial, Mis grandes amigos: Angie T, La Negra, Yilmar, Mario, Sico, Daldo, La pernicia Mario García y el Corti; Mi compañero de tesis y gran amigo Andrés "la MDS" por todo su apoyo, por las peleas, por el computador, por la moto, por las parrandas y las que vienen, por las traspachadas estudiando, por las traspachadas bebiendo en fin por todo aquello que define a un GRAN AMIGO.

Al igual que a todas aquellas personas que en su momento contribuyeron en este logro.

A todos ¡muchas gracias!

MOISES

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD DE SUCRE, por brindarnos los medios para nuestra formación profesional.

A el Ingeniero JAIRO SALCEDO docente de la Universidad de Sucre y director de este trabajo, por sus aportes y colaboración en el desarrollo de mi formación profesional.

A el Ingeniero ALFREDO FERNANDEZ catedrático de la Universidad de Sucre y codirector de este trabajo, por sus aportes y colaboración en el desarrollo de nuestra formación profesional.

A todos aquellos que no mencionamos pero que de alguna forma hicieron parte de nuestra formación profesional una experiencia enriquecedora...

MIL Y MIL GRACIAS.

TABLA DE CONTENIDO

		Págs.
	RESUMEN	
	ABSTRACT	
1	INTRODUCCION	
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GENERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
3	ESTADO DEL ARTE	20
3.1	GENERALIDADES DE LA YUCA	20
3.2	USOS DEL ALMIDON EN APLICACIONES NO ALIMENTICIAS	20
3.3	QUE ES UN ADHESIVO	21
3.3.1	Colas animales	22
3.3.2	Adhesivos vegetales	22
3.4	APLICACIONES DE LOS ADHESIVOS	23
3.5	PRINCIPALES USOS DE LOS ADHESIVOS NATURALES	24
3.5.1	Cerrado de cajas de cartón	24
3.5.2	Fabricación de cores o tubos de espiral	24
3.5.3	Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel	24
3.5.4	Etiquetado de botellas de vidrio	25
3.6	PRUEBAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL PEGANTE	25
3.7	APLICACIÓN DE PRUEBAS DE ADHESIVIDAD Y CASCARA EN LA INDUSTRIA	27
4	DISEÑO METODOLOGICO	28
4.1	LOCALIZACION	28
4.2	TIPO DE INVESTIGACION	28

4.3	VARIABLES INDICADORAS	28
4.3.1	Variables dependientes	28
4.3.2	Variables independientes	28
4.4	PROCEDIMIENTO	29
4.4.1	Desarrollo del pegante	29
4.4.2	Evaluación la incidencia de las concentraciones de almidón – agua en relación a la concentración de NaOH	31
4.4.3	Diseño del adhesivo	31
4.4.4	Comparación del adhesivo	32
4.4.5	Evaluación económica del adhesivo	32
4.4.5.1	Costos fijos	32
4.4.5.2	Costos variables	32
5	RESULTADOS Y DISCUSION	33
5.1	Desarrollo del pegante	33
5.1.1	Obtención del almidón de yuca	33
5.1.2	Pruebas de calidad del pegante	33
5.2	Evaluación de la incidencia de las concentraciones de almidón – agua en relación a la concentración de NaOH.	35
5.2.1	Análisis para prueba de adhesividad, (ángulo de 90°), para sustrato cartón – cartón	35
5.2.2	Análisis para prueba de adhesividad, (ángulo de 90°), para sustrato papel – vidrio	37
5.2.3	Análisis para prueba de adhesividad, (ángulo de 90°), para sustrato papel – papel	39
5.2.4	Análisis para prueba de cáscara, (ángulo de 45°), para sustrato papel – vidrio	41
5.2.5	Análisis para prueba de cáscara, (ángulo de 45°), para sustrato cartón – cartón	43

5.2.6	Análisis para prueba de cáscara, (ángulo de 45°), para sustrato papel – papel	46
5.2.7	Datos óptimos de análisis de pruebas de cáscara y adhesividad	48
5.3	DISEÑO DEL ADHESIVO	48
5.3.1	PRUEBAS DE CALIDAD DEL ADHESIVO	49
5.4	COMPARACIONES DE LOS ADHESIVOS	51
5.4.1	Comparación de fuerzas de pegado, en newton, de adhesivos comerciales con el de almidón de yuca nativo	53
5.4.2	Comparación de características organolépticas	57
5.5	EVALUACION ECONOMICA DEL ADHESIVO	58
5.5.1	Costos y gastos fijos	58
5.5.2	Costos variables	60
5.5.3	Comparación de costos del adhesivo con los comerciales	63
5.6	DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO	64
5.7	PROGRAMACION DEL PROCESO DE ELABORACION DEL ADHESIVO	67
6	CONCLUSIONES	68
7	RECOMENDACIONES	70
8	BIBLIOGRAFIA	71
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Aplicación de pruebas de adhesividad y cáscara. Datos promedios de resultados de pruebas de calidad	27
Tabla 2. del pegante de las pruebas de adhesividad y cáscara en los diversos sustratos evaluados.	33
Tabla 3. Análisis de varianza para prueba de adhesividad para sustrato Cartón- Cartón.	36
Tabla 4. Análisis de varianza para prueba de adhesividad para sustrato Papel- Vidrio.	38
Tabla 5. Análisis de varianza para prueba de adhesividad para sustrato Papel- Papel.	40
Tabla 6. Análisis de varianza para prueba de cáscara para sustrato Papel- Vidrio.	42
Tabla 7. Análisis de varianza para prueba de cáscara para sustrato Cartón- Cartón.	44
Tabla 8. Análisis de varianza para prueba de cáscara para sustrato Papel- Papel.	46
Tabla 9. Datos optimizados de las pruebas de adhesividad.	48
Tabla 10. Diseño del adhesivo.	48
Tabla 11. Resultados pruebas de adhesivos.	49
Tabla 12. Formulación con modificación de aditivos (disminución Urea Y Bórax).	50
Tabla 13. Formulación con modificación de aditivos, (eliminación Urea Y Bórax).	50
Tabla 14. Resultados de las pruebas de las modificaciones de los aditivos.	51

Tabla 15.	Pruebas de adhesivos comerciales.	52
Tabla 16.	ANOVA para Adh_C_C según Adh.	53
Tabla 17.	ANOVA para Adh_P_V según Adh.	54
Tabla 18.	ANOVA para Adh_P_P según Adh.	55
Tabla 19.	ANOVA para Casc_C_C según Adh.	55
Tabla 20.	ANOVA para Casc_P_V según Adh.	56
Tabla 21.	ANOVA para Casc_P_P según Adh.	57
Tabla 22.	Comparación de características organolépticas del adhesivo de almidón de yuca respecto a los adhesivos comerciales.	58
Tabla 23.	Costos y gastos fijos de producción del adhesivo.	59
Tabla 24.	Valor materia prima del adhesivo.	60
Tabla 25.	Cantidad de materia prima en Kg por metro cubico de adhesivo.	60
Tabla 26.	Valores en pesos por metro cubico de adhesivo.	61
Tabla 27.	Costos de Producción para 300m ³ /año de adhesivo.	62
Tabla 28.	Costos finales para los adhesivos.	62
Tabla 29.	Comparación de costos con adhesivos comerciales.	63
Tabla 30.	Planeación de la producción del adhesivo.	67

LISTA DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Montaje para la prueba de adhesividad.	30
Figura 2. Montaje para la prueba de cáscara.	31

LISTA DE GRAFICAS

	Págs.
Grafica 1. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de adhesividad Cartón- Cartón.	36
Grafica 2. Superficie de respuesta estimada para prueba de adhesividad Cartón- Cartón	37
Grafica 3 Grafico de Pareto estandarizado para prueba de adhesividad Papel- Vidrio.	38
Grafica 4. Superficie de respuesta estimada para prueba de adhesividad Papel- Vidrio	39
Grafica 5. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de adhesividad Papel- Papel.	40
Grafica 6. Superficie de respuesta estimada para prueba de adhesividad Papel- Papel.	41
Grafica 7. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de cáscara Papel- Vidrio.	42
Grafica 8. Superficie de respuesta estimada para prueba de cáscara Papel- Vidrio.	43
Grafica 9. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de cascara Cartón- Cartón.	45
Grafica 10. Superficie de respuesta estimada para prueba de cáscara Cartón- Cartón.	45
Grafica 11. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de cascara Papel- Papel.	47
Grafica 12. Superficie de respuesta estimada para prueba de cáscara Papel- Papel.	47

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A** Tabla diseño factorial de pruebas del pegante
- ANEXO B** Diseño de pruebas organolépticas del adhesivo de almidón de yuca nativo.
- ANEXO C** Registro Fotográfico.
- ANEXO D** Datos de resultados de pruebas del pegante en newton para los diferentes sustratos.

RESUMEN

Con este trabajo investigativo se plantea abrir un campo de investigación y mostrar otro aparte del aprovechamiento industrial del almidón de yuca en la obtención de un adhesivo a partir de almidón yuca nativo modificado con Hidróxido de sodio (NaOH). Se realizaron ensayos en peso/peso de almidón a concentraciones de 10, 20, 30, 40 y 50% e hidróxido de sodio (NaOH) a 0, 0.66, 1.33 y 2% peso/volumen para desarrollar el pegante. La evaluación del pegante se realizó a temperatura ambiente, se planteó un diseño factorial multinivel con dos factores experimentales (concentración de almidón y NaOH) y tres bloques completamente aleatorizados, con tres repeticiones para un total de 60 ejecuciones.

En la evaluación de las pruebas de cascara y adhesividad a ángulos de 45° y 90° fueron utilizados tres sustratos diferentes como lo fueron papel- papel, cartón – cartón y papel- vidrio con los cuales se obtuvieron buenos resultados; de estos se realizaron 5 diseños de adhesivos. Luego los adhesivos obtenidos fueron comparados con tres adhesivos comerciales a través de pruebas de adhesividad, organolépticas y económicas, mostrando que adhesivos a base de almidón de yuca son más económicos y sus características de pegado son iguales o en algunos casos mejores que los comerciales; aunque en las características organolépticas no se obtuvieron los mejores resultados ya que la apariencia final en los adhesivos a base de almidón son inferiores a los adhesivos comerciales.

ABSTRACT

With this research work is to open a research field and show other than the industrial use of cassava starch in obtaining a sticker from native cassava starch modified with sodium hydroxide (NaOH). Was tested by weight / weight of starch at concentrations of 10, 20, 30, 40 and 50% and sodium hydroxide (NaOH) at 0, 0.66, 1.33 and 2% weight / volume to develop the glue. The evaluation was performed when the glue that reached room temperature and put a multi-factorial design with two experimental factors, (concentration of starch and NaOH), and three randomized complete block with three repetitions for a total of 60 performances. In evaluating the evidence of shell and adhesiveness to angles of 45 and 90 were used three different substrates as they were paper-paper, cardboard, glass, cardboard and paper in which he obtained the best results and these were performed 5 designs and manufacturing these adhesives. Then these stickers obtained were compared with three adhesives commercial tests adhesiveness, organoleptic and economic, resulting from the stickers that compared the adhesives based on cassava starch are more economical and its features are the same or stuck in some cases better that the commercial, though in the organoleptic characteristics were not obtained the best results since the final appearance in the starch-based adhesives are inferior to the adhesives business

INTRODUCCIÓN

El almidón es el segundo polisacárido más abundante después de la celulosa. Las características físicas y químicas de este compuesto lo posicionan en los mejores lugares dentro de la industria alimenticia, textil, farmacéutica, papelera y de adhesivos. (Ramírez, 2006).

Los adhesivos en general desempeñan un papel básico en la vida diaria, su empleo se extiende desde actividades escolares hasta importantes oficinas de estado. Es un sector que se encuentra en pleno crecimiento y su desarrollo será muy importante en los próximos años, dado que ofrece rendimientos similares y en ocasiones superiores a los de otras soluciones para el ensamblaje y el sellado, con ventajas en cuanto a ahorro de costes, (Madrid, 2004).

Desarrollar un adhesivo a base de almidón de yuca nativo permite incluir progresivamente el empleo de nuevas tecnologías a la obtención de diversos productos a partir del almidón, es abrir paso a estudios encaminados a la investigación, a procesos más sostenibles ambientalmente lo que representa una excelente oportunidad para los adhesivos naturales. Igualmente es dejar de lado la subutilización del almidón basada en la falta de información sobre estos debido a que las propiedades particulares y químicas de cada almidón son la clave de su éxito. Una investigación de las bases de datos de Foods Science and Technology Abstracts y de Foods Intelligence reveló la enorme brecha que se abre entre la información existente de las propiedades físicas de los tres grandes del almidón - trigo, maíz y patata-, y la información de los almidones tropicales, entre los cuales se destaca el almidón de yuca, (Citado de revista enfoques, FAO 1998).

Los adhesivos de almidones son una buena alternativa, pues requieren insumos relativamente sencillos, (enzimas, ácidos, oxidantes y sales), destacándose su uso

en los procesos de rotulado de botellas, papelería, encuadernación, sobres, etiquetas, etc. (Aristizabal, 2004). La exigencia creciente que los productos sean biodegradables, aumentará la demanda de estos adhesivos en industrias de empaques y papel. Presentando una nueva alternativa a mediana escala que permite desarrollar tecnologías y aplicaciones al departamento de Sucre.

La materia prima utilizada para la obtención de un adhesivo en el departamento de Sucre es de gran abundancia y fácil acceso, la yuca (*Manihot sculenta crantz* var. M- TAI), se cultiva en grandes cantidades en la región Sucreña (978 Has, DANE 2006); la implementación de las tecnologías apropiadas para fabricar el adhesivo van orientadas hacia la investigación, a tener una presencia significativa en los mercados mundiales y a la aplicación de conocimientos propios de la ingeniería.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar un adhesivo elaborado a partir del almidón de yuca nativo, (*Manihot sculenta crantz*), variedad M – TAI, utilizando hidróxido de sodio como agente hidrolizante.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desarrollar un pegante a partir de almidón de yuca, (*Manihot sculenta crantz*), variedad M – TAI.
- Evaluar la incidencia de la concentración de almidón - agua en relación a la concentración de NaOH, en los diferentes tipos de sustratos.
- Diseñar el adhesivo a partir de la información reportada en el objetivo anterior.
- Comparar los adhesivos seleccionados con otros pegantes comerciales.
- Evaluar económicamente el proceso de producción de adhesivos seleccionados teniendo como materia prima yuca (var. M. Tai).

3. ESTADO DEL ARTE.

3.1 GENERALIDADES DE LA YUCA

La yuca, (*Manihot sculenta Crantz*), es una especie de las raíces amiláceas que se cultiva en los trópicos y subtropicos es originaria de América tropical; antes del año 1600 los exploradores portugueses la llevaron a Asia y África; se siembra actualmente en 92 países donde alimenta a mas de 500 millones de personas. Existen actualmente más de 5000 variedades y cada una tiene características peculiares, en general la yuca tolera la sequía (sin reducir producción) porque posee tres características particulares: los estomas se cierran cuando el aire está seco, las raíces extraen agua del suelo profundo (hasta 2.5m), y su sistema fotosintético fija el carbono atmosférico aun disponiendo de poca agua (en estrés hídrico prolongado). Las raíces pueden cosecharse a los 7 meses de plantado el cultivo y pueden permanecer en el suelo hasta 3 años. Una vez cosechadas se deterioran en 3 o 4 días; por tanto deben consumirse o procesarse sin demora. (Clayuca, 2004).

3.2 USOS DEL ALMIDÓN EN APLICACIONES NO ALIMENTICIAS

El almidón tiene una gran variedad de aplicaciones de valor agregado en la industria no alimentaría, y cada aplicación exige características y funciones particulares. En la elaboración de adhesivos se tratan con ácidos o con alcaloides, y se modifican con oxidantes, sales y alcoholes; en la industria textil se esterilizan, oxidan y se someten a diversos agentes de interconexión cruzada; en la industria del papel permiten aprovechar más el papel reciclado en cartón macizo y cartón. La industria donde se producen hojas y películas de plástico le están abriendo espacio a la utilización de los almidones para suplir la demanda de que los

productos sean biodegradables, así como en las fibras naturales que irán reemplazando a las espumas de plástico,

Las siguientes son algunas de las aplicaciones principales del almidón en industrias no alimenticias:

- **Adhesivos.** Gomas de cola de fusión, estampillas, encuadernación, sobres y etiquetas.
- **Explosivos.** Adhesivo para la cabeza de los fósforos.
- **Papel.** Recubrimientos de papel, pañales desechables.
- **Construcción.** Aglutinante para tabiques de concreto, adhesivo para madera laminada.
- **Metal.** Adhesivo de metal poroso, aglutinantes para núcleos de fundición.
- **Textiles.** Acabado de telas, estampado, cosméticos maquillajes, cremas faciales.
- **Farmacéuticos.** Revestimiento de cápsulas, agentes dispersantes.
- **Minería.** Separación de minerales por flotación y sedimentación.
- **Otros.** Películas de plásticos biodegradables, baterías secas. (citado de revista enfoques 1998, <http://www.fao.org/ag/esp/revista/>)

3.3 QUÉ ES UN ADHESIVO

Un adhesivo es un material que permite la unión entre dos superficies o sustratos en el que actúan dos fuerzas esenciales, la adhesión y la cohesión: la adhesión es la fuerza de unión que se produce entre el adhesivo y el sustrato y la cohesión es la resistencia ejercida en el interior del adhesivo, Según Oñoro 2005, existen una gran cantidad de adhesivos de diferentes naturalezas y origen. Eso hace que la clasificación de los mismos se haya realizado de muy diversas maneras. La clasificación más simple es la que los divide en dos grandes grupos.

3.3.1 Colas animales. Son adhesivos preparados a partir del colágeno de los mamíferos, proteína principal del cuero, huesos y tendones.

3.3.2 Adhesivos vegetales. Son aquellos solubles o dispersables en agua que son producidos o extraídos de materias primas naturales por procesos relativamente simples. Los almidones que constituyen la principal fuente de adhesivos pueden extraerse de raíces, tubérculos y médulas de las plantas. Las principales fuentes de almidón son: maíz, trigo, patatas, boniatos y arroz. Los adhesivos proteínicos de origen vegetal, como la cola de soja, tienen propiedades similares a los adhesivos de origen animal. Especial interés tiene el grupo de las gomas naturales como el caucho, el agar-agar o la goma arábica.

Existen igualmente otros tipos de adhesivos que se relacionan a continuación:

- **Adhesivos reactivos.** El curado se realiza después de su aplicación: epoxi, siliconas, cianoacrilatos, anaeróbicos, poliuretanos, etc.
- **Adhesivos no reactivos:** Prepolimerizados antes de su aplicación: colas y adhesivos de contacto, PVC, colas blancas, cintas adhesivas, etc. Otra clasificación puede realizarse en función de la naturaleza del material del que están fabricados.
- **Adhesivos termoplásticos.** Como indica su nombre se ablandan hasta fundir con la temperatura, por lo que tienen poca resistencia al calor y a la fluencia, lo que puede ser una ventaja en aplicaciones de sellado.
- **Adhesivos elastómeros vulcanizados.** Dan mejores valores para la resiliencia, presentan menos fluencia y tienen una resistencia al calor superior a los termoplásticos; por otro lado, son superiores a todos los restantes en resistencia a la flexión.
- **Adhesivos termoestables.** Están formados por polímeros que experimentan por curado una transformación. Física y química irreversible

que los hace infusibles e insolubles. Las reacciones de curado pueden ser por condensación o por adición. Tienen buena resistencia a la fluencia, alto módulo de elasticidad y mayor resistencia a la temperatura que el resto. Su fragilidad depende, entre otras cosas, de la estructura molecular del monómero; sin embargo, se pueden conseguir comportamientos mecánicos diferentes ajustando las composiciones y condiciones de curado.

3.4 APLICACIONES DE LOS ADHESIVOS.

Los adhesivos se utilizan actualmente en innumerables aplicaciones y cada día surgen nuevas posibilidades de uso. Las aplicaciones más habituales en función de la naturaleza de los adhesivos son las siguientes.

- colas hechas de colágeno; se usan en la industria de la madera y contrachapado, la encuadernación de libros, la fabricación de papel engomado y en la unión de tejido y madera. La cola caseína se emplea en etiquetas adhesivas, aglomerados de corcho, recubrimientos de papel, encolado de la madera y en la fabricación de pinturas. (Oñoro, 2005)
- Los adhesivos vegetales; almidones y dextrinas derivadas de maíz, trigo, patatas y arroz, se utilizan para solapas y juntas de sobres, sellos de correos, etiquetas, aprestado de tejidos (almidones de ropa blanca) y cintas adhesivas. Ciertas gomas, como la goma arábica, el agar-agar y la algina, cuando están húmedas proporcionan adhesión a ciertos productos como los sellos y los sobres engomados; también se utilizan en la unión de papel con hojas de aluminio. Los pegamentos de celulosa, son empleados para pegar pieles, tela y papel, y en la construcción para el empapelado de paredes. Por último, los

cementos de goma y la masilla son productos de utilización general en la construcción.(Oñoro, 2005)

3.5 PRINCIPALES USOS DE LOS ADHESIVOS NATURALES

Según estudio de mercado realizado en Colombia, las dextrinas obtenidas por ruta seca son la principal materia prima para la elaboración de adhesivos principalmente para la elaboración de tubos en espiral, formado de sacos de papel, cierre de cajas de cartón y pegado de etiquetas sobre vidrio (Acosta y Salcedo, 2004).

3.5.1 Cerrado de cajas de cartón. Este adhesivo se usa para encolar las aletas superiores y/o inferiores de las cajas de cartón corrugado a mano o en maquina. El factor principal en la selección del adhesivo esta en el largo de la unidad de compresión que controla el tiempo. Generalmente se usan adhesivos con un alto contenido de soda cáustica. Los adhesivos tienen un contenido de sólidos de 30-40% y 1000-3000 cP 25°, (Aristizabal, 2004).

3.5.2 Fabricación de cores o tubos de espiral. En la formación de un tubo en espiral, formado por varias capas de cartón enrolladas unidas entre sí, se usan dos tipos de adhesivos. Para las capas más externas se usan emulsiones de PVA y para las más internas se usan adhesivos a base de dextrinas. El adhesivo constituye la base para la formación de un buen tubo en espiral, ya que este está sujeto a altas velocidades en su uso final y además del propio peso del material del cual está formado. El consumo de adhesivo en esta aplicación depende del ancho de la pared, que varía de acuerdo a la necesidad de resistencia que se requiera. Estos adhesivos usualmente contienen 40-50% de sólidos con viscosidades entre 8000 y 15000 cP, (Aristizabal, 2004).

3.5.3 Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel. Para la fabricación de sacos multipliegos se requieren principalmente dos clases de adhesivos, uno para pegado de los laterales, otro para la base. Se usan adhesivos solubles en agua fría, cuya principal característica es que deben ser razonablemente pegajosos y de secado rápido. Generalmente son usadas dextrinas blancas pocos solubles, especialmente en maquinas de alta velocidad. Su principal sustituto son las emulsiones de PVA o mezclas de adhesivos dextrina-PVA. El adhesivo para pegar los laterales puede ser de secado lento, altamente diluido, siempre y cuando posea buen poder adhesivo. El adhesivo para la base debe poseer buena penetración ya que si se dispersa demasiado los sacos pueden pegarse unos con otros sacos al momento de ser almacenados, hecho que es indeseable. Actualmente los adhesivos para costura tienen unos márgenes normales de 20-33% de sólidos y viscosidades entre 2000 y 3000 cP, (Aristizabal, 2004).

3.5.4 Etiquetado de botellas de vidrio. Generalmente para esta aplicación se usan adhesivos a partir de dextrinas y solubles en agua fría. Son adhesivos extremadamente pegajosos. Estos adhesivos pueden ser usados en maquinas de alta velocidad, son fáciles de manejar y limpiar. Su principal sustituto son los adhesivos con base de caseína y los Jelly Gum, (en el caso en el cual los envases deban ser refrigerados), siendo esta la principal desventaja de las dextrinas en este tipo de aplicación, su baja resistencia al frío. Se pueden usar también dextrinas boratados en el caso de sustratos porosos. La característica más importante de los adhesivos para esta aplicación tenga resistencia al frío y que sea estable al cambio de temperatura, (Aristizabal, 2004).

3.6 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL PEGANTE

El propósito es aplicar una serie de pruebas para evaluar la fuerza adhesiva del pegante. Para determinar la capacidad adhesiva, la prueba extensible así como la prueba de la cáscara se realizan en una variedad de pegamentos. Las variables

utilizadas evalúan la fuerza y la durabilidad del pegamento junto con la facilidad de retiro del pegamento. De acuerdo con los resultados, los pegamentos óptimos serán determinados para cada uno de los varios usos.

Para evaluar correctamente las características de los pegantes, fue encontrado que la prueba extensible, (Adhesividad), y de la cáscara son los dos métodos preferidos para caracterizar la fuerza y la durabilidad de un material. La prueba extensible implica el aplicar de una fuerza normal a la superficie donde se coloca el pegamento. La fuerza del enlace causada entre el pegamento y la superficie puede romperse de una manera cohesiva o adhesiva. La fractura cohesiva implica que el pegamento tira lejos de la superficie mientras que la fractura adhesiva significa que el pegamento permanece en contacto con la superficie. El punto en el cual esta fractura ocurre se llama la carga o el máximo extensible en que se rompe. En industria, la prueba extensible se conduce bajo variedad de diversas condiciones externas tales como presión y temperatura que varían de determinarse cómo se efectúa la fuerza adhesiva. Las pruebas iniciales fueron realizadas para determinar la capacidad de esta disposición experimental. Además de la fuerza, otra característica crítica es la durabilidad del pegamento. El pegamento debe ser bastante durable para permanecer adherido firmemente a la superficie. La prueba de la cáscara produce la información usada en la determinación de la durabilidad del pegamento. En la prueba de la cáscara la fuerza se aplica en ángulo que simula el retiro del material adhesivo. La prueba puede determinar la fuerza friccional presente del enlace adhesivo.

La prueba extensible es conducida aplicando una carga perpendicular a la fuerza de la superficie que contiene los pegamentos. Un bloque de madera más ligero cubierto con la hoja de papel se pone después sobre el primer bloque. Los bloques se presionan juntos y se mantienen por cierto tiempo. Los bloques entonces son separados por un sistema de polea y motor que se une al bloque de madera. Un dinamómetro situado entre la primera polea y el bloque de madera se utiliza para medir la carga máxima ejercida en la separación de los bloques.

Durante el experimento, el pegamento se aplica a la superficie del bloque inferior, teniendo en cuenta que el adhesivo esté uniformemente distribuido, y el bloque superior entonces se baja aplicando un peso sobre el bloque inferior. Este peso es utilizado para presionar los dos bloques juntos a una presión igual. Luego de un tiempo, en el que se considera que el adhesivo ha secado, se retira el peso. El motor entonces se gira y se observa el punto de separación. El tiempo al despegue se mide usando un cronómetro. El tiempo comienza cuando las cuerdas estaban tensas y termina cuando los bloques se han separado.

El aparato de la prueba de cáscara utiliza el mismo sistema del dinamómetro y de la polea, para simular un movimiento que despega en donde el bloque de madera será puesto en ángulo en lo referente a la polea. La localización del bloque de madera será ajustada para variar el ángulo de despegue. La carga máxima será medida otra vez junto con el tiempo de separación, (Garde J 2006).

3.7 APLICACIÓN DE PRUEBAS DE ADHESIVIDAD Y CASCARA EN LA INDUSTRIA

Según la norma UNE EN 12960 del 2001, (norma técnica de determinación de cizalla para adhesivos para papel, cartón y rotulado), se determina la aplicación de estas pruebas en la industria; la cual se ilustra en la tabla 1.

Tabla 1. Aplicación de pruebas de adhesividad y cascara.

APLICACIÓN	TIPO ADHESIVO
Cerrado de cajas de cartón:	CARTON - CARTON ANGULO 90
Fabricación de cores o tubos en espiral	CARTON - CARTON ANGULO 45
Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel para cierres laterales	PAPEL - PAPEL ANGULO 45
Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel para base	PAPEL - PAPEL ANGULO 90
Etiquetado de botellas de vidrio.	PAPEL VIDRIO ANGULO 90 Y 45

Fuente: Garde J, 2006.

4. DISEÑO METODOLOGICO

4.1 LOCALIZACION

Este proyecto fue realizado en la planta piloto de procesos agroindustriales, de la Universidad de Sucre, ubicada en la sede de puerta verde, "Granja el Perico", en el municipio de Sampedano.

4.2 TIPO DE INVESTIGACION

Esta investigación se enmarca dentro del tipo de investigación experimental, utilizándose como objeto de estudio el almidón nativo de yuca, variedad M-TAI.

4.3 VARIABLES INDICADORAS

4.3.1 Variables dependientes

- Fuerza de pegado en Newton en ángulo de 45°, (Prueba de cáscara).
- Fuerza de pegado en Newton en ángulo de 90°, (Prueba de adhesividad).
- Tiempo de adhesión

4.3.2 Variables independientes

- Concentración de hidróxido de sodio, (0, 0.66%, 1.33%, y 2%), p/p
- Concentración de la solución de almidón, (10%, 20%, 30%, 40% y 50%), p/v

4.4 PROCEDIMIENTO

La metodología realizada para la elaboración del adhesivo a base de almidón de yuca nativo fue realizada en dos etapas, la primera correspondió a la elaboración

del pegante, y la segunda a la elaboración y comparación del adhesivo. (Entiéndase por pegante las sustancia elaborada a partir de almidón de yuca con propiedades adhesivas al cual no se le ha adicionado los aditivos para mejorar su presentación comercial; y por adhesivo el pegante con los aditamentos adicionales y listo para su utilización comercial).

4.4.1 Desarrollo del pegante. Para la elaboración del pegante se procedió a realizar actividades desde las preparaciones de las concentraciones de NaOH hasta la realización de las pruebas del pegante.

- **Obtención del almidón de yuca.** Para la obtención de este, se utilizaron 60 Kg. de yuca fresca, las operaciones realizadas para su obtención fueron de forma artesanal.
- **Preparación de las soluciones de almidón y de NaOH.** Para la obtención de los pegantes a partir de almidón modificado de yuca, se partió del almidón nativo de yuca obtenido previamente, al cual se le adiciono un agente oxidante, hidróxido de sodio, preparado en concentraciones de 0, 0.66%, 1.33 %y 2.0% p/p y soluciones de almidón de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% p/v.
- **Preparación del producto.** Las soluciones de almidón de yuca del, (10, 20, 30, 40 y 50%), y las soluciones de hidróxido de sodio, (0.66 , 1.33 y 2 %), fueron puestas en un reactores de un litro en las combinaciones establecidas anteriormente para la elaboración del adhesivo, por un tiempo de 16 min, (tiempo optimo de preparación de almidón), a temperaturas de más o menos +- 5 °C por debajo de la temperatura de gelatinización del almidón de yuca (Rango de temperatura con al cual inicia el proceso de gelatinización del almidón 68 a 72 °C), Ramírez 2006. Se planteo un Diseño Factorial Multi

Nivel, con dos factores experimentales, (Concentración de almidón y NaOH), y tres bloques (tiempos de 5 min., 10 min. y 15 min.) completamente aleatorizados, con tres repeticiones para un total de 60 ejecuciones, (ver Anexo A).

- **Pruebas de calidad del pegante.** Luego de obtener el adhesivo se procedió a realizar las pruebas en los sustratos definidos previamente. Fueron realizadas, las pruebas de cáscara, (ángulo de 45°), y adhesividad, (ángulo de 90°), (ver figura 1 y 2), utilizando, en ambas, sustratos como: papel bond blanco, cartón de cajas y vidrio transparente liso. Las uniones realizadas fueron así: papel-papel, cartón-cartón, papel-vidrio. El tiempo de adhesión en las uniones realizadas fue de 5, 10 y 15 minutos, correspondiente al tiempo de secado del adhesivo en sus diferentes sustratos. El pegante se evaluó cuando alcanzó la temperatura ambiente y fue aplicado en forma de película delgada a una superficie de unión o sustrato utilizado.

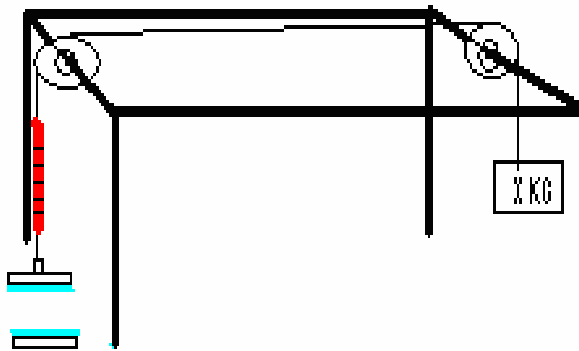


Figura 1. Montaje para la prueba de adhesividad.

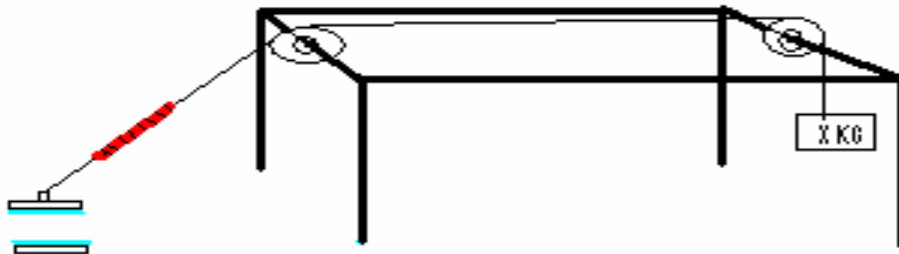


Figura 2. Montaje para la prueba de cáscara.

4.4.2 Evaluación de la incidencia de las concentraciones de almidón – agua en relación a la concentración de NaOH. Para el análisis de la información se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.1 utilizando como sistema de respuestas los análisis de gráficas de superficie y estímulos de áreas de optimización.

El análisis estadístico que se aplicó a los resultados en este procedimiento fue el análisis de varianza ANOVA, con un nivel de confiabilidad del 95%, para la interpretación de los datos se utilizó gráficas de Pareto estandarizados, gráficas de superficie de respuestas estimadas.

4.4.3 Diseño del adhesivo. Basados en las combinaciones Almidón – NaOH y tiempo de secado del adhesivo que presentaron la mayor adhesividad se procedió al diseño del producto, (adhesivo), adicionando aditivos como: Modificador de viscosidad (Bórax 2-10% p/p), preservativo (formaldehído comercial (1 – 1.5% p/p), antiespumante – plastificante (aceite de ricino 0.3 -2 5 p/p), impermeabilizante (urea 5 - 10 %p/p) y un aromatizante comercial (0.5 -1 %p/p),

se realizaron pruebas de calidad al adhesivo, las cuales son las mismas elaboradas en las pruebas de calidad del pegante.

4.4.4 Comparación del adhesivo. Este análisis se realizó mediante el programa estadístico STATGRAPHICS PLUS 5.1, en donde se compararon los resultados obtenidos del adhesivo de almidón de yuca con 3 adhesivos comerciales. Adicionalmente se realizaron pruebas organolépticas en donde se evaluó color, olor y apariencia del producto final, (ver anexo B).

4.4.5 Evaluación económica del adhesivo. En este punto se tomo como referencia los adhesivos comerciales y la proyección supuesta de una planta para producción de adhesivos a base de almidón de yuca, con el fin de determinar los costos de producción, valores de ventas y competitividad de este producto frente a los adhesivos comerciales. En este caso se dividirán los costos dependiendo los caracteres de estos, (fijos y variables).

4.4.5.1 Costos fijos. Estos costos son aquellos que son independientes del carácter productivo de la empresa, aquí están incluidos los siguientes.

Monto salarial en el cual se contara con 5 trabajadores con una remuneración de 1, (uno), salario mínimo legal mensual vigente; arriendo de la infraestructura o edificación donde se instalara la planta; compra de equipos, los equipos a utilizar son los siguientes; 2 reactores con una capacidad de 2 m³ cada uno, 2 tanques de almacenamiento con una capacidad de 10 m³, maquina dosificadora por pistón para líquidos viscosos con capacidad de 2 m³/hora, bombas de presión, Sistema de bandas transportadoras, balanzas, básculas, agitadores y sistema de calderas.

4.4.5.2 Costos variables. Estos gastos son aquellos dependientes del carácter productivo de la planta Para la determinación de estos costos se estimara las materias primas directas a utilizar en la elaboración de cada uno de los adhesivos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DESARROLLO DEL PEGANTE.

Para el proceso de desarrollo del pegante se procedió en las etapas de elaboración del almidón hasta las pruebas de adhesividad.

5.1.1. Obtención del almidón de yuca. Se obtuvieron 7.5 kg de almidón con una humedad del 13 %, (b.h); el rendimiento de extracción fue del 11 %, valor menor que la extracción mecanizada con un 19.6 %, (Luna, et al, 2006).

5.1.2. Pruebas de calidad del pegante. Los resultados obtenidos de las pruebas de adhesividad y cáscara, con los sustratos, se muestran en el anexo D. En la tabla 2 se relacionan los datos promedios de estos.

Tabla 2. Datos Promedios de resultados de pruebas de calidad del pegante de las pruebas de adhesividad y cáscara en los diversos sustratos evaluados.

EJERC	BLOQUE	% NaOH p/p	% ALMIDON p/V	PRUEBA ADHESIVIDAD Fuerzas en Newton			PRUEBA CASCARA fuerzas en Newton		
				P - P	C- C	P- V	P - P	C- C	P- V
1	1	0	20	23	22	14	23	21	13
2	1	1,33	50	28	68	34	24	53	16
3	1	2	40	22	45	19	27	51	21
4	1	0,666	10	0	0	0	0	0	0
5	1	1,333	20	23	21	11	19	19	11
6	1	0,666	50	9	32	23	9	36	30
7	1	0	40	13	41	33	23	62	24
8	1	2	50	30	55	43	34	63	51
9	1	0	10	0	0	0	0	0	0
10	1	0,666	40	9	17	21	7	35	25

11	1	0	50	31	55	22	39	54	38
12	1	2	20	17	42	27	18	43	34
13	1	0,666	30	9	28	11	12	45	6
14	1	0	30	21	47	19	27	59	13
15	1	2	30	27	50	20	35	45	23
16	1	1,333	10	0	0	0	0	0	0
17	1	2	10	9	10	25	13	12	30
18	1	1,33	30	31	49	15	29	39	18
19	1	1,333	40	23	51	21	32	51	23
20	1	0,6666	20	5	6	13	7	6	13
21	2	1,33	40	27	51	25	27	42	27
22	2	2	40	28	44	31	46	68	33
23	2	1,333	30	23	52	25	22	55	17
24	2	0,666	10	0	0	0	0	0	0
25	2	1,333	10	0	0	0	0	0	0
26	2	0	50	20	44	22	19	37	32
27	2	0,666	40	9	41	25	16	60	14
28	2	2	30	23	43	13	30	51	25
29	2	2	50	23	37	31	23	53	33
30	2	0,666	20	7	25	3	7	20	5
31	2	0	20	16	19	12	23	28	17
32	2	0	30	17	53	17	23	78	17
33	2	0,6666	30	12	37	22	15	55	12
34	2	1,333	20	13	87	17	17	79	22
35	2	0	40	22	44	27	20	80	38
36	2	0	10	0	0	0	0	0	0
37	2	1,333	50	22	69	41	25	58	42
38	2	2	10	10	32	8	15	31	15
39	2	2	20	10	38	11	15	81	23
40	2	0,666	50	10	44	22	11	47	29
41	3	0	20	17	57	23	13	98	29
42	3	0	30	28	67	19	19	83	23
43	3	0	40	21	59	17	33	81	16
44	3	0	10	0	0	0	0	0	0
45	3	2	10	8	22	13	13	20	17
46	3	1,333	30	17	75	13	21	87	19
47	3	2	50	27	46	35	29	57	41
48	3	1,333	40	25	46	19	29	45	17
49	3	2	30	23	61	15	33	49	25
50	3	0,666	20	5	21	8	8	13	11
51	3	0	50	25	43	13	21	41	17
52	3	0,666	40	10	27	18	8	39	15

53	3	0,666	30	13	31	10	12	50	9
54	3	1,333	10	0	0	0	0	0	0
55	3	2	40	17	71	25	33	75	21
56	3	0,666	50	7	45	19	8	41	21
57	3	1,333	50	23	59	25	20	63	21
58	3	0,6666	10	0	0	0	0	0	0
59	3	1,3333	20	14	59	12	22	69	17
60	3	2	20	19	79	13	19	91	25

5.2 EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LAS CONCENTRACIONES DE ALMIDÓN – AGUA EN RELACIÓN A LA CONCENTRACIÓN DE NaOH.

Realizada la inserción de los resultados de las pruebas del pegante en el programa estadístico, STATGRAPHICS PLUS versión 5.1, se obtuvieron los análisis para cada uno de los adhesivos a elaborar, estos se encuentran representados a continuación.

Fuente	P - valor para prueba de adhesividad ángulo de 90°			P - valor para prueba de cáscara ángulo de 45°		
	C-C	P-P	P-V	C-C	P-P	P-V
A: concentración de almidón	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B: concentración NaOH	0,0059	0.000	0.000	0,0075	0,0003	0,0001
C: tiempo de pegado	0,4119	0,1982	0,0084	0,0393	0,012	0,0049
AB	0,036	0,6413	0,1639	0,3445	0,7618	0,599
AC	0,0911	0,6356	0,1371	0,7072	0,9261	0,208
BC	0,2999	0,9957	0,1274	0,7945	0,2856	0,7362

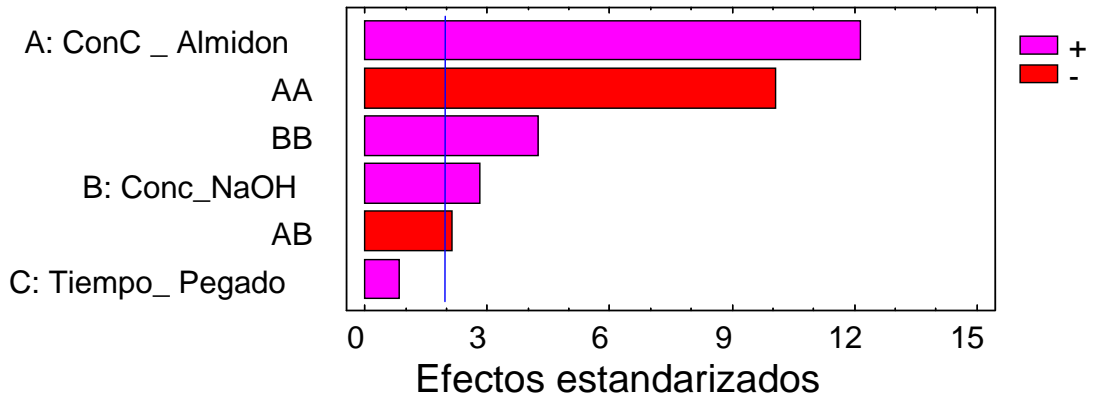
5.2.1. Análisis para prueba de adhesividad, (ángulo 90°), para sustrato cartón – cartón. Para el sustrato cartón – cartón el análisis de varianza, (ver tabla 3), arrojó un R-cuadrado igual a 63,5853 por ciento, R-cuadrado (ajustado para g.l.) igual a 62,3224 por ciento, Error Estándar de Est. Igual a 16,6105 y un Error absoluto de la media igual a 12,6391.

Tabla 3. Análisis de varianza prueba de adhesividad para sustrato cartón – cartón.

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	P – valor
A : conc almidón	40450,6	1	40450,6	0,0000
B: conc NaOH	2144,39	1	2144,39	0,0059
C: tiempo de pegado	186,657	1	186,657	0,4119
AA	27836	1	27836,2	0,0000
AB	1232	1	1232,14	0,036
BB	4879,2	1	4879,2	0,0000
Bloques	5541,68	2	2770,84	0,0001
Error total	47180	171	275,907	
Total (corr.)	129963	179		

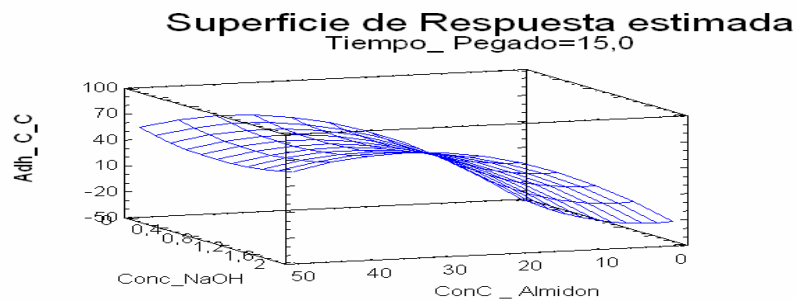
La grafica 1 muestra los efectos relevantes de las variables sobre adhesividad del pegante sobre el sustrato cartón – cartón, observando que la concentración de almidón, (Conc_almidon), es la variable que más influye en la adhesividad, y que el tiempo de pegado no representa un efecto significativo sobre la adhesividad.

Gráfico de Pareto estandarizado para Adh_ C_C



Grafica 1. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de adhesividad Cartón- Cartón.

En la grafica 2, se observa el comportamiento del adhesivo con referencia a los estímulos externos, (Conc de NaOH y conc de almidón), utilizando como respuesta las fuerzas de pegado del adhesivo final, (Adh_C_C), determinando así el área optima que es representada por la parte más alta de la grafica, cuyos datos arrojados son un factor óptimo de 70.6244 a una concentración de almidón de 35.46 % y una concentración de NaOH de 2 % con un tiempo de secado del adhesivo de 15 min



Grafica 2. Superficie de respuesta estimada para prueba de adhesividad cartón-cartón.

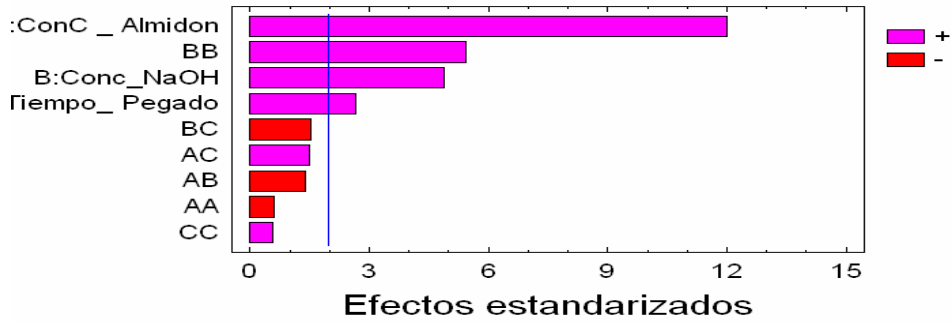
5.2.2. Análisis prueba de adhesividad, (ángulo 90°), para sustrato papel – vidrio. Para el sustrato papel - vidrio el análisis de varianza, (ver tabla 4), arrojó un R-cuadrado igual a 56,3455 por ciento R-cuadrado, (ajustado para g.l.), igual a 54,0344 por ciento Error Estándar de Est. Igual a 9,37451 Error absoluto de la media igual a 6,96158.

Tabla 4. Análisis de varianza prueba de adhesividad para sustrato papel – vidrio.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	P-valor
A: conc almidón	12671,7	1	12671,7	0,0000
B: conc NaOH	2088,5	1	2088,5	0,0000
C: tiempo de pegado	625,504	1	625,504	0,0084
AA	32,4741	1	32,47	0,5441
AB	171,771	1	171,77	0,1639
AC	196,109	1	196,109	0,1371
BB	2575,84	1	2575,84	0,0000
BC	206,212	1	206,212	0,1274
CC	29,63	1	29,63	0,5622
Bloques	375,156	2	189,078	0,1195
Error total	14764,1	168	87,88	
Total (corr)	33820,3	179		

La grafica 3 muestra los efectos relevantes de las variables sobre adhesividad del pegante en el sustrato papel – vidrio, observando que la concentración de almidón, (Conc_almidon), es la variable que más influye en la adhesividad, de igual modo que la concentración de NaOH, (Conc_NaOH), y el tiempo de pegado no representa un efecto significativo sobre la adhesividad.

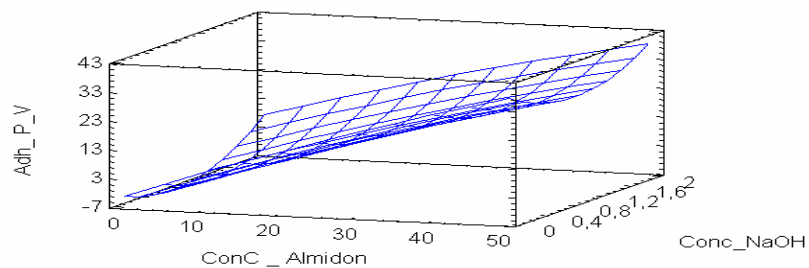
Gráfico de Pareto estandarizado para Adh_P_V



Grafica 3. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de adhesividad Papel- Vidrio.

En la grafica 4, se observa el comportamiento del adhesivo con referencia a los estímulos externos, (Conc de NaOH y conc de almidón), utilizando como respuesta las fuerzas de pegado del adhesivo final, (Adh_P_V), determinando así el área optima que es representada por la parte más alta de la grafica, cuyos datos arrojados son un factor óptimo de 38.873 a una concentración de almidón de 50% y una concentración de NaOH de 2 % con un tiempo de secado del adhesivo de 15 min.

Superficie de Respuesta estimada
Tiempo_ Pegado=15,0



Grafica 4. Superficie de respuesta estimada para prueba de adhesividad Papel- Vidrio.

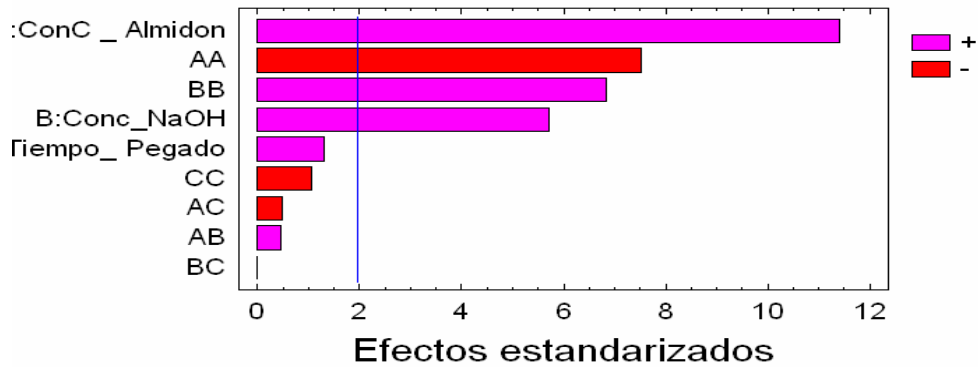
5.2.3. Análisis prueba de adhesividad, (ángulo 90°), para sustrato papel – papel. Para el sustrato papel - papel el análisis de varianza, (ver tabla 5), arrojó un R-cuadrado igual a 61,9466 por ciento R-cuadrado (ajustado para g.l.) igual a 59,932 por ciento Error Estándar de Est. Igual a 7,88549 Error absoluto de la media = 5,74509.

Tabla 5. Análisis de varianza prueba de adhesividad para sustrato papel – papel.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	P-valor
A: conc almidón	8090,99	1	8090,99	0,0000
B: conc NaOH	2024,39	1	2024,39	0,0000
C: tiempo de pegado	103,754	1	103,754	0,1982
AA	3525,85	1	3525,85	0,0000
AB	13,5451	1	13,5451	0,6413
AC	14,0124	1	14,0124	0,6356
BB	2909,71	1	2909,71	0,0000
BC	0,000351	1	0,00035	0,9957
CC	68,41	1	68,41	0,2957
Bloques	209,184	2	104,592	0,1891
Error total	10446,4	168	62,181	
Total (corr)	27451,9	179		

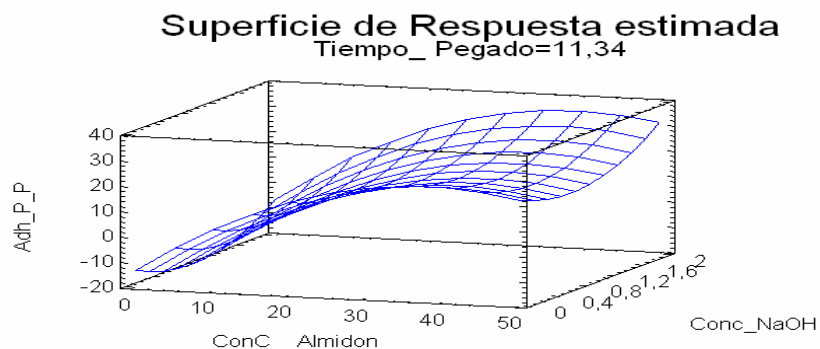
La grafica 5 muestra los efectos relevantes de las variables sobre adhesividad del pegante sobre el sustrato papel – papel, observando que la concentración de almidón es la variable que más influye en la adhesividad, de igual modo que la concentración de NaOH y el tiempo de pegado no representan un efecto significativo sobre la adhesividad.

Gráfico de Pareto estandarizado para Adh_P_P



Grafica 5. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de adhesividad Papel- Papel.

En la grafica 6, se observa el comportamiento del adhesivo con referencia a los estímulos externos, (Conc de NaOH y conc de almidón), utilizando como respuesta las fuerzas de pegado del adhesivo final, (Adh_P_P), determinando así el área optima que es representada por la parte más alta de la grafica, cuyos datos arrojados son un factor optimo de 34.837 a una concentración de almidón de 39.335% y una concentración de NaOH de 2 % con un tiempo de secado del adhesivo de 11.34 min.



Grafica 6. Superficie de respuesta estimada para prueba de adhesividad Papel- Papel.

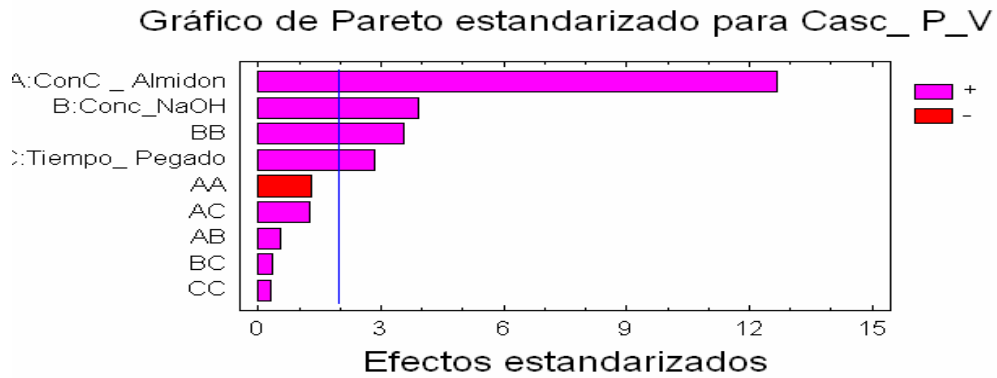
5.2.4. Análisis prueba de cáscara, (ángulo 45°), para sustrato papel – vidrio.

Para el sustrato papel - vidrio el análisis de varianza, (ver tabla 6), arrojó un R-cuadrado igual a 55,2219 por ciento R-cuadrado (ajustado para g.l.) igual a 52,8513 por ciento Error Estándar de Est. Igual a 8,22404 Error absoluto de la media igual a 5,6538

Tabla 6. Análisis de varianza prueba de cáscara para sustrato papel – vidrio.

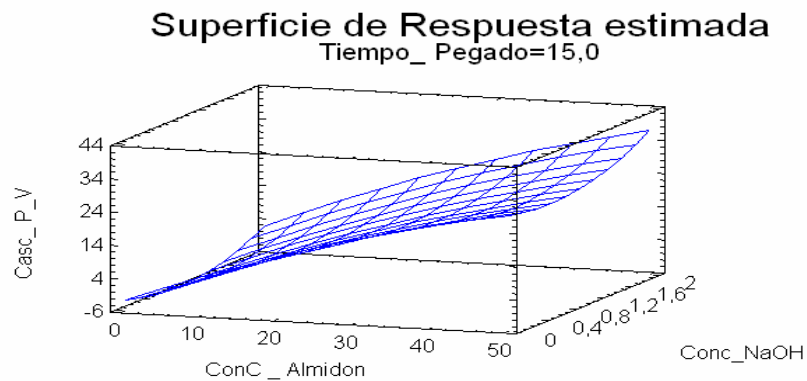
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	P- valor
A: conc almidón	10832,8	1	10832,8	0
B: conc NaOH	1030,51	1	1030,51	0,0001
C: Tiempo de pegado	550,089	1	550,089	0,0049
AA	113,331	1	113,331	0,1970
AB	18,7286	1	18,72	0,5990
AC	107,795	1	107,795	0,2080
BB	850,245	1	850,245	0,0005
BC	7,7	1	7,7	0,7362
CC	6,04	1	6,04	0,7653
Bloques	456,186	2	228,093	0,0366
Error total	11362,7	168	67,64	
Total (corr)	25375,5	179		

La grafica 7 muestra los efectos relevantes de las variables sobre adhesividad del pegante sobre el sustrato papel – vidrio, observando que la concentración de almidón es la variable que más influye en la adhesividad, al igual que el tiempo de pegado y concentración de NaOH no representan un efecto significativo sobre la adhesividad.



Grafica 7. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de cáscara papel-vidrio.

En la grafica 8, se observa el comportamiento del adhesivo con referencia a los estímulos externos, (Conc de NaOH y conc de almidón), utilizando como respuesta las fuerzas de pegado del adhesivo final, (Casc_P_V), determinando así el área optima que es representada por la parte más alta de la grafica, cuyos datos arrojados son un factor óptimo de 37.259 a una concentración de almidón de 50% y una concentración de NaOH de 2% con un tiempo de secado del adhesivo de 15 min.



Grafica 8. Superficie de respuesta estimada para prueba de cáscara papel-vidrio.

5.2.5. Análisis prueba de cáscara, (ángulo 45°), para sustrato cartón – cartón.

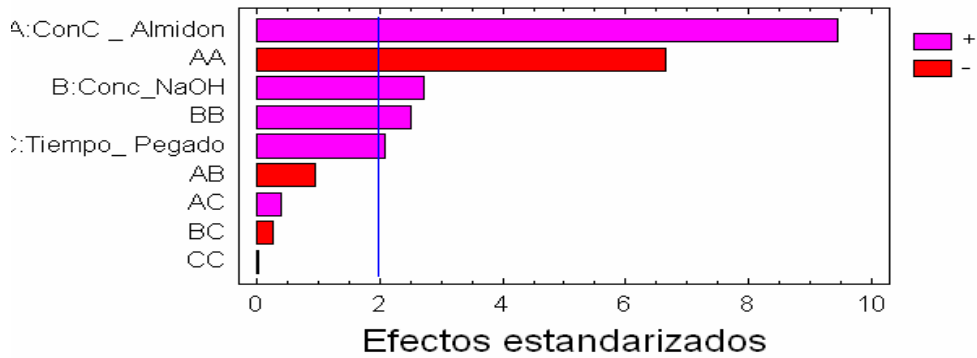
Para el sustrato cartón - cartón el análisis de varianza, (ver tabla 7), arrojó un R-cuadrado igual a 49,4965 por ciento R-cuadrado (ajustado para g.l.) igual a 46,8228 por ciento Error Estándar de Est. Igual a 18,2952 Error absoluto de la media igual a 12,8137.

Tabla 7. Análisis de varianza prueba de cáscara para sustrato cartón - cartón.

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	P- valor
A: conc almidón	29894,9	1	29894,9	0,0000
B: conc NaOH	2453,02	1	2453,02	0,0075
C: tiempo de pegado	1444,64	1	1444,64	0,0393
AA	14754	1	14754	0,0000
AB	300,853	1	300,853	0,3445
AC	47,3958	1	47,3958	0,7072
BB	2099,73	1	2099,73	0,0132
BC	22,7878	1	22,7878	0,7945
CC	0,0877	1	0,0877	0,9871
Bloques	3871,37	2	1935,685	0,0037
Error total	56232,1	168	334,714881	
Total (corr)	111343	179		

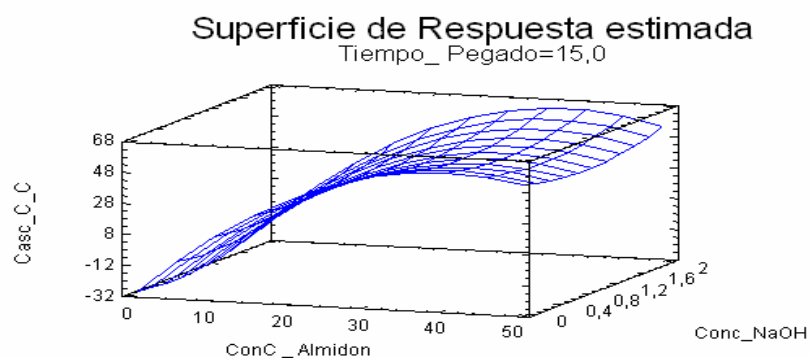
La grafica 9 muestra los efectos relevantes de las variables sobre adhesividad del pegante sobre el sustrato papel – vidrio, observando que la concentración de almidón es la variable que más influye en la adhesividad y que el tiempo de pegado y concentración de NaOH no representan un efecto significativo sobre la adhesividad.

Gráfico de Pareto estandarizado para Casc_C_C



Gráfica 9. Gráfico de Pareto estandarizado para prueba de cáscara cartón-cartón.

En la grafica 10, se observa el comportamiento del adhesivo con referencia a los estímulos externos, (Conc de NaOH y conc de almidón), utilizando como respuesta las fuerzas de pegado del adhesivo final, (Casc_C_C), determinando así el área optima que es representada por la parte más alta de la grafica, cuyos datos arrojados son un factor óptimo de 63.592 a una concentración de almidón de 37.7 y una concentración de NaOH de 2 % con un tiempo de secado del adhesivo de 15 min.



Gráfica 10. Superficie de respuesta estimada para prueba de cáscara cartón-cartón.

5.2.6. Análisis prueba de cáscara, (ángulo 45°), para sustrato papel – papel.

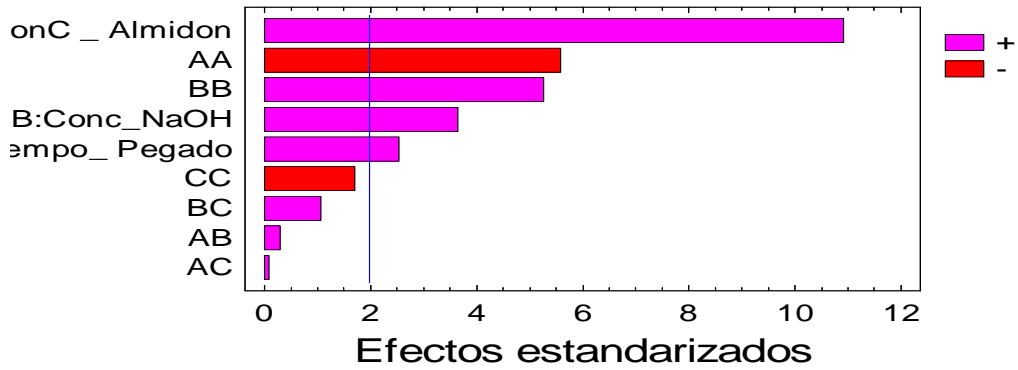
Para el sustrato papel - papel el análisis de varianza, (ver tabla 8), arrojó un R-cuadrado igual a 55,0408 por ciento R-cuadrado (ajustado para g.l.) igual a 52,6606 por ciento Error Estándar de Est. Igual a 7,23918 Error absoluto de la media igual a 5,40622.

Tabla 8. Análisis de varianza prueba de cáscara para sustrato papel – papel.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	P-Valor
A:ConC _ Almidón	6255,03	1	6255,03	0,0000
B:Conc_NaOH	699,11	1	699,11	0,0003
C:Tiempo_ Pegado	337,703	1	337,703	0,012
AA	1640,1	1	1640,1	0,0000
AB	4,83006	1	4,83006	0,7618
AC	0,452385	1	0,452385	0,9261
BB	1457,21	1	1457,21	0,0000
BC	60,1386	1	60,1386	0,2856
CC	151,306	1	151,306	0,0911
Bloques	127,135	2	63,5675	0,2999
Error Total	8804,16	168	52,40571429	
Total (corr.)	19582,6	179		

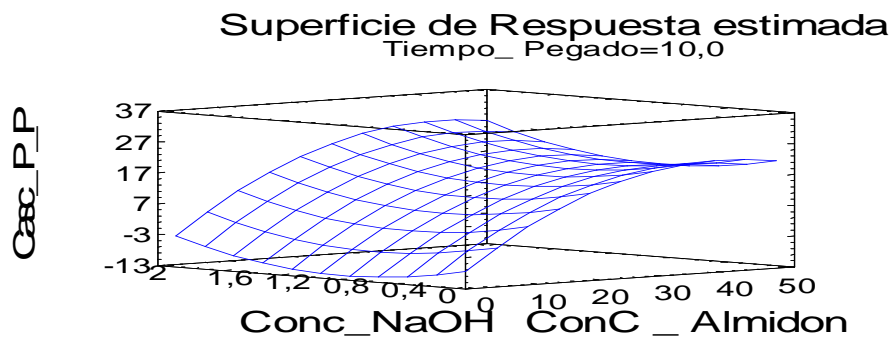
La grafica 11 muestra los efectos relevantes de las variables sobre la adhesividad del pegante en el sustrato papel – vidrio, observando que la concentración de almidón es la variable que más influye en adhesividad junto con la variable concentración de NaOH y que el tiempo de pegado no representa un efecto significativo sobre la adhesividad.

Gráfico de Pareto estandarizado para Casc_P_P



Grafica 11. Grafico de Pareto estandarizado para prueba de cáscara papel-papel.

En la grafica 12, se observa el comportamiento del adhesivo con referencia a los estímulos externos, (Conc de NaOH y conc de almidón), utilizando como respuesta las fuerzas de pegado del adhesivo final, (Casc_P_P), determinando así el área optima que es representada por la parte más alta de la grafica, cuyos datos arrojados son un factor optimo de 29.353 a una concentración de almidón de 42.07% y una concentración de NaOH de 0.84 % con un tiempo de secado del adhesivo de 13.46 min.



Grafica 12. Superficie de repuesta estimada para prueba cáscara papel-papel.

5.2.7. Datos óptimos de análisis de pruebas de cáscara y adhesividad. De los resultados en los análisis anteriores tenemos los siguientes datos, en la tabla 9, se representan los valores óptimos de cada uno de las pruebas realizadas.

Tabla 9. Datos optimizados de las pruebas de adhesividad.

SUSTRATO	C – C (90°)	P – V (90°)	P – P (90°)	C – C (45°)	P – V (45°)	P – P (45°)
% NaOH	0,702	1	0,786	0,754	1	0,84
% ALMIDON	35,1	50	39,3	37,7	50	42
Tiempo (Min)	15	15	11,34	15	15	13,4

5.3 DISEÑO DEL ADHESIVO.

De los datos óptimos ilustrados en la tabla 9 se procedió con el diseño del adhesivo, relacionado en la tabla 10.

Tabla 10. Diseño del adhesivo.

SUSTRATO	C – C (90°)	P – V (90°)	P – P (90°)	C – C (45°)	P – V (45°)	P – P (45°)
% NaOH	0,702	1	0,786	0,754	1	0,84
% ALMIDON	35,1	50	39,3	37,7	50	42
%. BORAX	1,755	2,5	1,965	1,885	2,5	2,1
% FORMALDEHIDO	0,26325	0,375	0,29475	0,28275	0,375	0,315
% ACEITE DE RICINO	0,351	0,5	0,393	0,377	0,5	0,42
%. UREA	2,6325	3,75	2,9475	2,8275	3,75	3,15
% AROMATIZANTE	0,26325	0,375	0,29475	0,28275	0,375	0,315

5.3.1 Pruebas de calidad del adhesivo. De acuerdo al diseño de los adhesivos se realizaron las pruebas de adhesividad obteniendo como resultados los datos relacionados en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados prueba de adhesivo.

SISTRATO	C – C (90°)	P – V (90°)	P – P (90°)	C – C (45°)	P – V (45°)	P – P (45°)
	FUERZAS DE PEGADO (Newton)	70	52	52	42	32
COLOR	2	2	2	2	2	2
AROMA	0	0	0	0	0	0
APARIENCIA	0	0	1	0	0	1
P-VALOR	0,000271	0,000492	0,000493	0,000755	0,001299	0,000922

Respecto a los resultados obtenidos de las características organolépticas se observa que unos de los factores, la apariencia, no es aceptable por el cual se decide modificar las concentraciones de los aditivos hasta el punto de obtener un adhesivo con una apariencia final aceptable. Por el cual se reformula el diseño del adhesivo realizando dos modificaciones en la formulación inicial; las cuales son disminución del porcentaje de urea en 62% y 100% y bórax en 33% y 100% respectivamente; los cuales se encuentran representados en la tabla 12 y 13.

Tabla 12. Formulación con modificación de aditivos (Disminución Urea y Bórax).

SUSTRATO	C – C (90°)	P – V (90°)	P – P (90°)	C – C (45°)	P – V (45°)	P – P (45°)
% NaOH	0,702	1	0,786	0,754	1	0,84
% ALMIDON	35,1	50	39,3	37,7	50	42
% BORAX	1,00	1,42	1,12	1,07	1,42	1,20
% FORMALDEHIDO	0,26325	0,375	0,29475	0,28275	0,375	0,315
% ACEITE DE RICINO	0,351	0,5	0,393	0,377	0,5	0,42
% UREA	1,00	1,43	1,12	1,08	1,43	1,20
% AROMATIZANTE	0,26325	0,375	0,29475	0,28275	0,375	0,315

Tabla 13. Formulación con modificación de aditivos (Eliminación Urea y Bórax)

SUSTRATO	C – C (90°)	P – V (90°)	P – P (90°)	C – C (45°)	P – V (45°)	P – P (45°)
% NaOH	0,702	1	0,786	0,754	1	0,84
% ALMIDON	35,1	50	39,3	37,7	50	42
TIEMPO	15	15	11,34	15	15	13,4
ANGULO	90	90	90	45	45	45
% BORAX	0	0	0	0	0	0
% FORMALDEHIDO	0,26325	0,375	0,29475	0,28275	0,375	0,315
% ACEITE DE RICINO	0,351	0,5	0,393	0,377	0,5	0,42
% UREA	0	0	0	0	0	0
% AROMATIZANTE	0,26325	0,375	0,29475	0,28275	0,375	0,315

Relacionando las formulaciones de las tablas 12 y 13, se aplican los test de adhesividad y cáscara, los resultados de las pruebas son representados en la tabla 14

Tabla 14. Resultados de las pruebas de las modificaciones de los aditivos.

Sustrato		C-C (90°)	P-V (90°)	P-P (90°)	C-C (45°)	P-V (45°)	P-P (45°)
FUERZAS DE PEGADO (Newton)	Disminución de aditivos	74	54	52	48	38	38
	Eliminación de aditivos	85,33	58,66	52	53,33	45,33	40
COLOR	Disminución de aditivos	2	2	2	2	2	2
	Eliminación de aditivos	2	2	2	2	2	2
AROMA	Disminución de aditivos	0	0	0	0	0	0
	Eliminación de aditivos	0	0	0	0	0	0
APARIENCIA	Disminución de aditivos	2	2	3	2	2	3
	Eliminación de aditivos	3	3	4	3	3	4
P-VALOR	Disminución de aditivos	0,000755	0,001299	0,000922	0,000271	0,000492	0,000493
	Eliminación de aditivos	0,001299	0,000755	0,000493	0,000271	0,000922	0,000492

En la tabla 14 se observa que los mejores resultados fueron los adhesivos elaborados con la formulación de eliminación de aditivos, por tanto se determino realizar los adhesivos con esta nueva formulación.

5.4 COMPARACIONES DE LOS ADHESIVOS

Para llevar a cabo esta comparación fueron seleccionados 3 adhesivos comerciales a los cuales les fueron realizadas las pruebas respectivas, (adhesividad y cáscara), al igual pruebas organolépticas. Los resultados se ilustran en la tabla 15. Los adhesivos comerciales utilizados fueron:

- **Adhesivo pegajoso.** Pegante elaborado y distribuido por comercializadora estelar ref. 1903 utilizado para usos domésticos e industria maderera.
- **Adhesivo supertack.** Pegante elaborado por y distribuido por Invesa Medellín Antioquia utilizado para usos domestico y encuadernación
- **Adhesivo colbocol.** Pegante elaborado por y distribuido por Invesa utilizado para usos industria maderera.

Tabla 15. Pruebas de adhesivos comerciales.

ADHESIVO	CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS			PRUEBAS DE ADHESIVIDAD Y CASCARA		
	COLOR	AROMA	APARIENCIA	SUBSTRATO	ANGULO	FUERZA EN NEWTON
COLBOCOL	1	3	4	C- C	45	40 - 38 -42
				C- C	90	60 - 50- 56
				P-P	45	10 - 10 – 10
				P-P	90	18 - 18 – 20
				P-V	45	14 - 15 – 20
				P-V	90	40 - 50 -32
SUPER TACK	1	3	5	C- C	45	80 - 70 – 80
				C- C	90	90 - 90 – 90
				P-P	45	10 - 15 – 10
				P-P	90	20 - 30 – 30
				P-V	45	38 - 37 – 37
				P-V	90	25 - 18 – 18
PEGAJOSO	1	3	4	C- C	45	50 - 50 – 50
				C- C	90	80 - 80 -80
				P-P	45	10 - 15 – 15
				P-P	90	35 - 40 – 40
				P-V	45	20 - 20 – 22
				P-V	90	35 - 35 -40

5.4.1 Comparación de fuerzas de pegado, en newton, de los adhesivos comerciales con el de almidón de yuca nativo. Para esta comparación se tomaron los resultados obtenidos de los 3 adhesivos comerciales, representados en la tabla 15, y fueron comparados con cada uno de los adhesivos a base de almidón de yuca.

- **Comparación de Adhesivos cartón-cartón ángulo 90° con los adhesivos comerciales.** De los resultados obtenidos en las pruebas del adhesivo de almidón de sustrato cartón-cartón en ángulo 90° con los adhesivos comerciales tenemos el análisis representado en la tabla 16.

Tabla 16. ANOVA para Adh_C_C según Adh.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuad	GL	Cuadrado medio	Coeficiente-F	P-valor
Entre grupos	2145,33	3	715,111	67,04	0,0000
Intra grupos	85,3333	8	10,6667		
Total (corr)	2230,67	11			
Contraste múltiple de rango					
Adh	Frec.	Media	Grupos homogéneos		
Colbocol	3	55,3333	X		
Pegajoso	3	80	X		
Almidón	3	85,3	XX		
supertack	3	90	X		

Comparando los resultados obtenidos de estos adhesivos se encuentra que existe diferencia significativa entre el adhesivo de almidón y colbocol, (prueba TUKEY), teniendo el primero mejores resultados lo que indica que este adhesivo sustituye al adhesivo colbocol y de igual forma al no existir diferencia significativa en los

resultados con los dos adhesivos restantes el adhesivo a base de almidón puede remplazarlos.

- **Comparación de adhesivos papel-vidrio ángulo 90° con los adhesivos comerciales.** De los resultados obtenidos en las pruebas del adhesivo de almidón de substrato papel-vidrio en ángulo 90° con los adhesivos comerciales tenemos el análisis representado en la tabla 17.

Tabla 17. ANOVA para Adh_P_V según Adh.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuad	GL	Cuadrado medio	Coeficiente-F	P-valor
Entre grupos	2230,25	3	743,417	6,89	0,0131
Intra grupos	862,667	8	107,833		
Total (corr)	3092,92	11			
Contraste múltiple de rango					
Adh	Frec.	Media	Grupos homogéneos		
supertack	3	20,3333	X		
Pegajoso	3	36,6667	XX		
Colbocol	3	40,6667	XX		
Almidón	3	58,6667	X		

De las comparaciones obtenidas entre estos adhesivos se evidencia que existe diferencias significativas entre el adhesivo de almidón y los adhesivos pegajoso y supertack, (prueba TUKEY), teniendo este primero mejores resultados lo que indica que este adhesivo sustituye a los adhesivos comerciales y de igual forma al no existir diferencia significativa en los resultados con el adhesivo colbocol el adhesivo a base de almidón puede remplazarlo.

- **Comparación de adhesivos papel-papel ángulo 90° con los adhesivos comerciales.** De los resultados obtenidos en las pruebas del adhesivo de almidón de sustrato papel-papel en ángulo 90° con los adhesivos comerciales tenemos el análisis representado en la tabla 18.

Tabla 18. ANOVA para Adh_P_P según Adh.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuad	GL	Cuadrado medio	Coficiente-F	P-valor
Entre grupos	1894,92	3	631,639	45,94	0,0000
Intra grupos	110	8	13,75		
Total (corr)	2004,92	11			
Contraste múltiple de rango					
Adh	Frec.	Media	Grupos homogéneos		
Colbocol	3	18,6667	X		
Supertack	3	26,6667	X		
Pegajoso	3	38,3333	X		
Almidón	3	52	X		

Las comparaciones realizadas en la tabla 18 entre los adhesivos se evidencia que existen diferencias significativas entre el adhesivo de almidón y los adhesivos comerciales, (prueba TUKEY), teniendo este primero mejores resultados lo que indica que este adhesivo sustituye a los 3 adhesivos comerciales.

- **Comparación de adhesivos cartón-cartón ángulo 45° con los adhesivos comerciales.** De los resultados obtenidos en las pruebas del adhesivo de almidón de sustrato cartón-cartón en ángulo 45° con los adhesivos comerciales tenemos el análisis representado en la tabla 19.

Tabla 19. ANOVA para Cas_C_C según Adh.

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuad	GL	Cuadrado medio	Coeficiente-F	P-valor
Entre grupos	2166,67	3	722,222	38,69	0,0000
Intra grupos	149,333	8	18,6667		
Total (corr)	2316,0	11			
Contraste múltiple de rango					
Adh	Frec.	Media	Grupos homogéneos		
Colbocol	3	40	X		
Pegajoso	3	50	X		
Almidón	3	53,3333	X		
supertack	3	76,6667	X		

Sobre la tabla 19 se infiere que existen diferencias significativas entre el adhesivo de almidón y los adhesivos colbocol y supertack, (prueba TUKEY), teniendo este ultimo mejores resultados lo que indica que este adhesivo no puede ser sustituido por el adhesivo de almidón, el adhesivo colbocol, por el contrario, posee menor resultado en sus pruebas y el adhesivo de almidón en pequeña medida puede sustituirlo. De igual forma al no existir diferencia significativa en los resultados con el adhesivo pegajoso este adhesivo a base de almidón puede remplazarlo.

- **Comparación de adhesivos papel-vidrio ángulo 45° con los adhesivos comerciales.** De los resultados obtenidos en las pruebas del adhesivo de almidón de substrato papel-vidrio en ángulo 45° con los adhesivos comerciales tenemos el análisis representado en la tabla 20.

Tabla 20. ANOVA para Cas_ P_V según Adh

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuad	GL	Cuadrado medio	Coeficiente-F	P-valor
Entre grupos	1688,25	3	562,75	4,56	0,0382
Intra grupos	986,667	8	562,75		
Total (corr)	2674,92	11			
Contraste múltiple de rango					
Adh	Frec.	Media	Grupos homogéneos		
Colbocol	3	16,33 33	X		
Pegajoso	3	20,6667	XX		
supertack	3	37,3333	XX		
Almidón	3	45,3333	X		

De las comparaciones obtenidas de estos adhesivos se encuentra diferencias significativas entre el adhesivo de almidón y los adhesivos pegajoso y colbocol, (prueba TUKEY), teniendo el primero mejores resultados, lo que indica que este adhesivo sustituye a los adhesivos comerciales y de igual forma al no existir diferencia significativa en los resultados con el adhesivo supertack nos indica que el adhesivo a base de almidón puede reemplazarlo.

- **Comparación de adhesivos papel-papel ángulo 45° con los adhesivos comerciales.** De los resultados obtenidos en las pruebas del adhesivo de almidón de substrato papel-papel en ángulo 45° con los adhesivos comerciales tenemos el análisis representado en la tabla 21.

Tabla 21. ANOVA para Cas_P_P según Adh

ANALISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuad	GL	Cuadrado medio	Coeficiente-F	P-valor
Entre grupos	1822,92	3	607,639	20,83	0,0004
Intra grupos	233,333	8	29,1667		
Total (corr)	2056,25	11			
Contraste múltiple de rango					
Adh	Frec.	Media	Grupos homogéneos		
Colbocol	3	10	X		
Supertack	3	11,6667	X		
Pegajoso	3	13,3333	X		
Almidón	3	40	X		

En la tabla 21 se evidencia que existen diferencias significativas entre el adhesivo de almidón y los adhesivos comerciales, el primero presenta mejores resultados lo que indica que este sustituye a los adhesivos comerciales, (prueba TUKEY).

5.4.2 Comparación de características organolépticas

Para este punto se tomaron los resultados obtenidos de los análisis organolépticos de los adhesivos a base de almidón y se compararon con los resultados de los adhesivos comerciales, (ver tabla 15), los resultados de esta comparación se ilustran en la tabla 22.

Tabla 22. Comparación de características organolépticas del adhesivo de almidón de yuca respecto a los adhesivos comerciales.

Adhesivo	C-C (90°)	P-V (90°)	P-P (90°)	C-C (45°)	P-V (45°)	P-P (45°)	COLBOCOL	SUPERTACK	PEGAJOSO
COLOR	2	2	2	2	2	2	1	1	1
AROMA	0	0	0	0	0	0	3	3	3
APARIENCIA	3	3	4	3	3	4	4	5	4

En la tabla 22 se observa que las características organolépticas del adhesivo de almidón con respecto a los otros son muy similares exceptuando el aroma que es mucho mejor a los demás.

5.5 EVALUACION ECONOMICA DEL ADHESIVO

Para determinar este estudio se tomo una producción de 300 ton / año de adhesivo, lo cual corresponde al 43 % de la participación de la demanda de adhesivo a base de almidones importada para el año 2006 y el 6% de la producción de adhesivos de origen biológicos a nivel nacional, (Acosta y Salcedo, 2004). Lo que equivale a una producción del 13% correspondiente al total proyectado de la planta.

5.5.1 Costos y gastos fijos. Para estos costos se observa en la tabla 23 los gastos fijos relacionados para la producción de los adhesivos de almidón estos gastos se encuentran discriminados en periodo mensual y anual respectivamente.

Tabla 23. Costos y gastos fijos de producción del adhesivo.

GASTOS DE PERSONAL	Gastos Mensuales	Gastos Anuales
SUELDOS	3.000.000	36.000.000
AUXILIO DE TRANSPORTE	275.000	3.300.000
CESANTIAS	249.900,00	2.998.800
PRIMA DE SERVICIO	249.900,00	2.998.800
VACACIONES	124.800	1.497.600
BONIFICACIONES	2.000.000	24.000.000
DOTACION Y SUMINIS. TRABAJADO	3.000.000	3.000.000
PENSIONES DE JUBILACION	360.000	4.320.000
APORTES A A.R.P.	15.660	187.920
APORTES A E.P.S.	360.000	4.320.000
APORTES CAJ .DE COMP .FAMILIAR	120.000	1.440.000
APORTES I.C.B.F	90.000	1.080.000
SENA	60.000	720.000
ARRENDAMIENTOS		
CONSTRUCC .Y EDIFICACIONES	2.000.000	24.000.000

MAQUINARIA Y EQUIPO		0
OTROS		0
SERVICIOS		
ASEO Y VIGILANCIA	1.000.000	12.000.000
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO		0
ENERGIA ELECTRICA		0
TELEFONO		0
TRANSP .FLETES Y ACARREOS		0
TELEFONO-CELULAR		0
OTROS	2.000.000	24.000.000
MANTO Y REPARACIONES		
CONTRUCC. Y EDIFICACIONES		2.000.000
MAQUINARIA Y EQUIPO		3.000.000
EQUIPO DE OFICINA		0
DEPRECIACIONES		
CONTRUCC. Y EDIFICACIONES		0
MAQUINARIA Y EQUIPO		20.000.000
TOTAL	14.238.593	170.863.120

5.5.2 Costos variables. Para estos costos se debe observar que inicialmente se plantearon gastos de materias primas que en el desarrollo del proyecto fueron excluidas para la elaboración de este adhesivo, como son la urea y el bórax, en la tabla 24 se ilustran los precios de materia prima por tonelada.

Tabla 24. Valor materia prima del adhesivo por tonelada.

MATERIA PRIMA	VALOR TONELADA
NAOH	750.000
ALMIDON	2.500.000
ACEITE DE RICINO	1.000.000
AROMATIZANTE	3.500.000
AGUA	12.500
PRESERVANTE	1.650.000
ENVASES	30 \$ / unid

Fuente www.quiminet.com

Para realizar el cálculo de los costos variables de la producción del adhesivo es necesario conocer las cantidades de materia prima requerida para la obtención de una unidad de adhesivo, en este caso 1m³. Los datos obtenidos se ilustran en la tabla 25.

Tabla 25. Cantidad de materia prima en Kg. por metro cúbico de adhesivo.

TIPO ADHESIVO	NAOH	ALMIDON	ACEITE DE RICINO	AROMATIZANTE	AGUA	PRESERVANTE	ENVASES
C – C (90)	7,02	351	3,51	2,63	629	2,63	4.000
P – V (90)	10	500	5	3,75	480	3,75	4.000
P – P (90)	7,86	393	3,93	2,95	587	2,95	4.000
C – C (45)	7,54	377	3,77	2,83	603	2,83	4.000
P – V (45)	10	500	5	3,75	480	3,75	4.000
P – P (45)	8,4	420	4,2	3,15	560	3,15	4.000

En base a estas cantidades de materia prima para la producción de un metro cúbico de adhesivo se estimaron los valores en peso para la misma cantidad de adhesivo. Los datos obtenidos se ilustran en la tabla 26.

Tabla 26. Valores en pesos por metro cúbico de adhesivos.

TIPO DE ADHESIVO	NAOH	ALMIDON	ACEITE DE RICINO	AROMATIZANTE	AGUA	PRESERVANTE	ENVASES
C – C (90)	5.265	877.500	3.510	9.214	7.863	4.344	120.000
P – V (90)	7.500	1.250.000	5.000	13.125	6.000	6.188	120.000
P – P (90)	5.895	982.500	3.930	10.316	7.338	4.863	120.000
C – C (45)	5.655	942.500	3.770	9.896	7.538	4.665	120.000
P – V (45)	7.500	1.250.000	5.000	13.125	6.000	6.188	120.000
P – P (45)	6.300	1.050.000	4.200	11.025	7.000	5.198	120.000

Ahora, costos adicionales por servicios directos= \$20.000/ m³ de adhesivo. Para 300m³/año se requieren 1.200.000 unidades de envases de 250 cc. Atendiendo a la capacidad de la planta se hace extensivo un cálculo relacionado con la producción de 300 m³ de adhesivo a un año de funcionamiento y sus respectivos precios al consumidor, en la tabla 27 se ilustran los costos para esta producción.

Tabla 27. Costos de producción para 300 m³ / año de adhesivo.

Costo total en producción anual	Costos variables	Costos fijos	Total año	Valor final producto
C – C (90)	308.328.463	170.863.120	479.191.583	399
P – V (90)	422.363.750	170.863.120	593.226.870	494
P – P (90)	340.472.638	170.863.120	511.335.758	426
C – C (45)	328.227.238	170.863.120	499.090.358	416
P – V (45)	422.363.750	170.863.120	593.226.870	494
P – P (45)	361.136.750	170.863.120	531.999.870	443

De los valores obtenidos en la tabla 27 tenemos los costos finales para la producción del adhesivo a base de almidón y su utilización industrial de tales adhesivos, (según la norma UNE EN 12960 del 2001), relacionados en la tabla 28.

Tabla 28. Costos finales para los adhesivos.

Adhesivo	APLICACIÓN	Valor del adhesivo en presentación de 250 CC
C-C (90°)	Cerrado de cajas de cartón:	\$ 399
C-C (45°)	Fabricación de cores o tubos en espiral	\$ 416
P-P (45°)	Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel para cierres laterales	\$ 443
P-P (90°)	Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel para base	\$ 426
P-V (45°,90°)	Etiquetado de botellas de vidrio.	\$ 494

Los valores del costo del adhesivo para papel –vidrio en ángulo 45 y 90 al representar un solo adhesivo fueron seleccionados para la aplicación final de este.

5.5.3 Comparación de costos del adhesivo con los comerciales

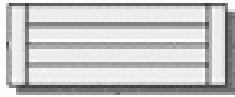
El mercado al cual ingresaría el adhesivo se encuentra abierto a nuevas alternativas y en esto incluye los costos de producción para así poder formular un precio, en la tabla 29 se ilustran los costos de adhesivos comerciales.

Tabla 29. Comparación de costos con adhesivos comerciales.

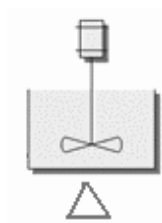
APLICACIÓN	Valor del adhesivo en presentación de 250 CC	Valor promedio de venta de adhesivos comerciales (250 cc)
Cerrado de cajas de cartón:	\$ 399	\$ 650
Fabricación de cores o tubos en espiral	\$ 416	\$ 650
Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel para cierres laterales	\$ 443	\$ 720
Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel para base	\$ 426	\$ 720
Etiquetado de botellas de vidrio.	\$ 494	\$ 500

5.6 DISEÑO DEL PROCESO PRODUCTIVO

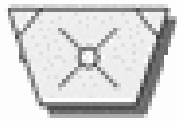
Frente a la metodología utilizada para la elaboración de este proyecto se puede establecer el siguiente proceso productivo para el montaje de una planta para obtener este tipo de adhesivo.



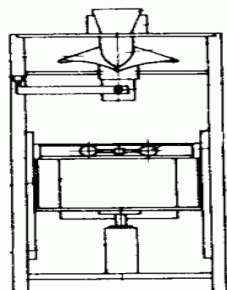
Recepción de materias primas (almidón de yuca y aditivos)



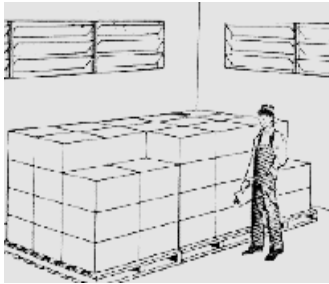
Mezcla de materias primas (tiempo y temperatura adecuadas)



Almacenamiento del adhesivo final almacenamiento del adhesivo obtenido



Envasado del adhesivo

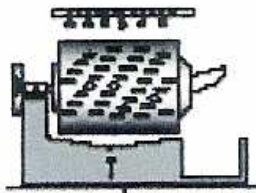


Empacado y almacenamiento

Frente a los resultados arrojados para este proceso se determinaron algunos factores primordiales para ser modificados al proceso inicial; como lo es la inclusión de la producción de almidón.



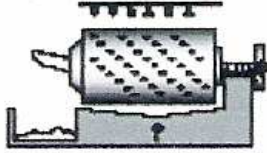
Recepción de raíces de yuca fresca



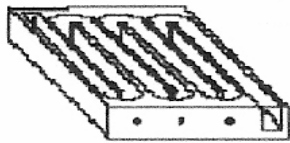
Lavado



Floculado



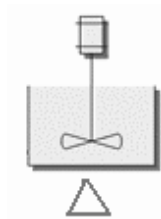
Colado



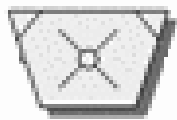
Sedimentación



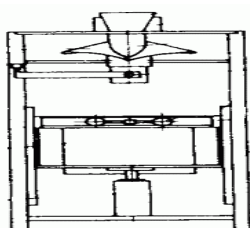
Recepción de materias primas (almidón de yuca sin secar % humedad 50 %)



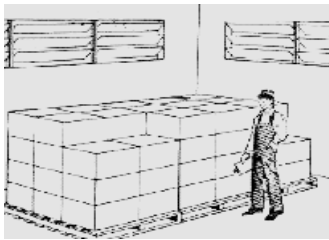
Mezcla de materias primas (tiempo y temperatura adecuadas)



Almacenamiento del adhesivo final almacenamiento del adhesivo obtenido



Envasado del adhesivo



Empacado y almacenamiento

5.7 PROGRAMACION DEL PROCESO DE ELABORACION DEL ADHESIVO

En la tabla 30 se ilustra la programación para la elaboración del adhesivo en una jornada de trabajo de 8 horas obteniendo como resultado 4 lotes de producción por día con un tiempo de elaboración promedio de 2 horas por lote.

Tabla 30. Planeación de la producción del adhesivo de almidón.

	1 HORA		2 HORAS		3 HORAS		4 HORAS		5 HORAS		6 HORAS		7 HORAS		8 HORAS	
PREPARACION PLANTA	■															
ADICION DE MATERIALES		■		■		■		■		■						
PREPARACION DEL PRODUCTO		■		■		■		■		■						
ENFRIADO			■		■			■			■					
LAVADO DE EQUIPOS	■			■		■		■		■			■			
ENVASADO y EMPACADO				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

6. CONCLUSIONES

- El efecto más influyente en la elaboración de los adhesivos para sus propiedades adherentes son la concentración de almidón de yuca.
- El adhesivo en donde más influye la concentración de NaOH es en el adhesivo de papel – papel.
- .La adición de urea y bórax en la formulación del adhesivo disminuye las características organolépticas de este.
- Las concentraciones de NaOH cercanas o iguales a 0.66 % favorece la elaboración de adhesivo de alta concentración de almidón.
- Los adhesivos de mayor concentración de almidón son los adhesivos para rotulados de botellas.
- Los adhesivos para rotulado de botellas poseen características de pegado superiores y características organolépticas inferiores a los adhesivos comparados
- Los adhesivos de almidón a partir de yuca con mayores fuerzas de pegado son los elaborados para ser utilizados en juntas de cartón – cartón.
- En el proceso de elaboración del adhesivo se puede observar que no es necesario la utilización de almidón seco debido que este, en el proceso de elaboración debe ser rehumectado, por lo que en la elaboración del adhesivo

se puede partir con almidón de yuca con concentración de 50 % de humedad, lo que favorece en la disminución de costos en materia prima, (agua costos de almidón), y energía, (secado del almidón y elaboración de solución de almidón agua).

- Según lo experimentado el adhesivo de almidón de yuca es superior en relación a los adhesivos comparados, en las fuerzas de pegado. exceptuando en las pruebas realizadas en los sustratos de cartón – cartón, siendo en estos sustratos el adhesivo supertack de mejores resultados.
- Los adhesivos de almidón de yuca son en promedio 22 % de menor costo que los adhesivos comerciales.
- Los adhesivos de almidón de yuca más económicos son los que poseen menor concentración de almidón en su formulación.

7. RECOMENDACIONES

- Generar una investigación donde se realicen las siguientes pruebas: Viscosidad final del producto, porcentaje de sólidos totales, pH y tiempo de secado esto con el fin de establecer los parámetros finales del producto a la hora de su elaboración industrial.
- Realizar un estudio económico del producto, (TIR, VPN, tasa de rentabilidad), en base a un estudio de mercado proyectado y comportamiento del mercado frente a este tipo de producto y así determinar una proyección en ventas.
- Elaborar otros adhesivos a base de almidones de yuca utilizando otras variedades de la región.
- Implementar una investigación para determinar las temperaturas y tiempos de secado de los adhesivos.
- Tener en cuenta en próximos trabajos las medidas de adhesividad con los tiempos de secado del adhesivo.
- Es necesario la utilización de instrumentos digitales en los próximos proyectos que tenga que ver con producción de adhesivos.

8. BIBLIOGRAFIA

- Acosta M, Salcedo M. Estudio de las aplicaciones industriales, el mercado potencial en Colombia y diseño de un producto a partir de pirodextrinas de yuca, [Trabajo de grado] Santiago de Cali, Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, 2004.
- Almidones modificados un potencial para la industria del almidón en Colombia , [Diapositivas], Colombia, 2004 [51 diapositivas, preparadas por Ing. Aristizabal J]
- AMYLUM GROUP, Cartón ondulado, Aalst, Belgica, 2006, págs. 1- 8
- Aristizabal J, Nuevas tecnologías para la producción de almidones modificados por vía seca, Boletín electrónico del consorcio latinoamericano y del Caribe de apoyo a la investigación y desarrollo de la yuca, 2004, edic N°6, Págs. 1- 2.
- Biz Dimensión Co. LTDA [On line] Tailandia [Citado el 17 Marzo 2008] disponible
[www.foodmarketexchange.com/datacenter/product/feedstuff/tapioca/detail/dc_pi_ft_tapioca_0501.htm]
- Colombia, DANE, Censo de plantas procesadoras de yuca para uso industrial, 2003, págs. 1-4
- Colombia, DANE, Censo de producción de yuca para uso industrial separata de resultados, 2006, págs. 1- 25

- Garde J. Colas y adhesivos [Artículo de internet], <http://www.guiaenvase.com/bases%5guidaenvase.nsf>>> [Consulta 13 marzo 2008]
- Kinloch, A.J., "Adhesión and Adhesives - Science and Technology", Chapman and Hall, 1987
- Luna W, Mera J. Producción de dextrinas a partir de almidón de nativo en la rallandería Todoyuca en el corregimiento Pescador, (municipio de Caldon, Cauca). [Trabajo de grado], Popayán, Cauca, Universidad del Cauca, Facultad de ciencias Agropecuarias, 2006.
- Madrid M, Seminario sobre adhesivos, 2006, pág. 1- 57, Caracas, Venezuela.
- Oñoro J, Adhesivos. El reto de unir todo con todo [Publicación periódica en línea] se encuentra en <http://www.upm.es/investigacion/actividades/2005>>> Vol. 8 págs. 6- 14 Ingeniería y Ciencia de los materiales industriales. UPM
- Sandovala A, Farhat I, Fernández A. Comportamiento reológico de harinas y almidones de yuca (*Manihot sculenta crantz*) durante un proceso de extrusión, Rev. Vitae, 2007, Vol. 14, pag 6-15 Medellín Colombia 2007.
- Scoott D. A assembly advances in structural adhesives, [Artículo de internet], <http://www.adhesivesmag.com/cda/articles/assembly>>> [Consulta 10 Julio 2008]
- www.maripapel.com/index.php/De-Portada-Corrugado/Funcionamiento-de-un-almidon

ANEXOS

ANEXO A

TABLA DISEÑO FACTORIAL DE PRUEBAS DEL PEGANTE

EJERC	BLOQUE	CONC NaOH	CONC ALMIDON
1	1	0	20
2	1	1,33	50
3	1	2	40
4	1	0,666	10
5	1	1,333	20
6	1	0,666	50
7	1	0	40
8	1	2	50
9	1	0	10
10	1	0,666	40
11	1	0	50
12	1	2	20
13	1	0,666	30
14	1	0	30
15	1	2	30
16	1	1,333	10
17	1	2	10
18	1	1,33	30
19	1	1,333	40
20	1	0,6666	20
21	2	1,33	40
22	2	2	40
23	2	1,333	30
24	2	0,666	10
25	2	1,333	10
26	2	0	50
27	2	0,666	40

28	2	2	30
29	2	2	50
30	2	0,666	20
31	2	0	20
32	2	0	30
33	2	0,6666	30
34	2	1,333	20
35	2	0	40
36	2	0	10
37	2	1,333	50
38	2	2	10
39	2	2	20
40	2	0,666	50
41	3	0	20
42	3	0	30
43	3	0	40
44	3	0	10
45	3	2	10
46	3	1,333	30
47	3	2	50
48	3	1,333	40
49	3	2	30
50	3	0,666	20
51	3	0	50
52	3	0,666	40
53	3	0,666	30
54	3	1,333	10
55	3	2	40
56	3	0,666	50
57	3	1,333	50
58	3	0,6666	10
59	3	1,3333	20
60	3	2	20

ANEXO B

DISEÑO DE PRUEBAS ORGANOLEPTICAS DEL ADHESIVO DE ALMIDON DE YUCA NATIVO

- Color: determinado de acuerdo con la siguiente clasificación:

COLOR	CALIFICACION
Blanco	0
Gris	5
Negro	10



Olor: determinando de acuerdo con la siguiente clasificación

Olor	clasificación
Agradable	0
Aceptable	3
Desagradable	5

Apariencia

Apariencia	clasificación
buena	5
aceptable	3
Mala	0

Para ambos casos olor y apariencia se tomo como referencia los pegantes comerciales con los cuales fueron puestos en comparación.

ANEXO C

REGISTRO FOTOGRAFICO



Montaje prueba de adhesividad



Elaboración del adhesivo

ANEXO D

DATOS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DEL PEGANTE EN NEWTON PARA LOS DIFERENTES SUSTRATOS

conc almidón	conc NaOH	tiempo de pegado	Casc p-p	Casc c-c	Casc p - v	Adh p-p	Ads c-c	Adh p-v
20	0,666667	5	3	7	12	5	4	13
30	0	15	28	48	24	44	66	14
50	0,666667	15	10	34	38	8	32	54
30	1,333333	15	38	48	14	20	46	6
50	0,666667	10	6	32	14	10	41	26
20	0,666667	4	8	15	15	8	7,5	15
10	2	15	7,5	10	28	17,5	8	30
10	2	10	15,5	7	11	11	8	25
40	0,666667	15	8	14	36	8	34	24
20	2	10	17	42	22	20	48	34
10	0	10	0	0	0	0	0	0
50	2	10	28	70	40	32	78	50
40	0,666667	10	10	26	20	8	42	30
20	1,333333	10	23	16	5	18	16	7
10	1,333333	5	0	0	0	0	0	0
50	1,333333	5	19	60	34,7	15	34,5	12,5
40	2	15	30	50	14	28	54	22
30	0,666667	10	2	34	4	18	44	2
20	1,333333	5	28	62	16	38	24	18
30	0	10	18	46	16	10	60	16
20	0	5	27,5	10	12	13	16	10,5
10	0	15	0	0	0	0	0	0
50	2	15	34	44	42	30	54	44
20	0	15	17,5	30,5	16	25	27	18
10	1,333333	15	0	0	0	0	0	0
20	0	10	23	26	15	32	19	11
40	1,333333	10	28	44	16	32	58	24
50	2	5	28	52	46	40	56	58
30	2	10	28	42	20	34	52	14
50	1,333333	10	32	70	34,7	27,5	64	12,5
30	1,333333	5	28	62	16	38	24	18
50	0	5	40	50	8	34	66	8
50	1,333333	15	34	74	32	29	60	22,5
20	2	15	20	42	30	17,5	37,5	34,5

50	0	15	20	70	20	38	40	62
10	0	5	0	0	0	0	0	0
20	2	5	12,5	42,5	28	16	42,5	34,5
30	2	15	26	46	30	42	42	22
50	0,666667	5	10	30	18	8	34	10
40	1,333333	5	18	38	20	30	40	15
10	0,666667	10	0	0	0	0	0	0
10	0,666667	5	0	0	0	0	0	0
40	0,666667	5	8	10	8	4	28	20
30	0	5	18	48	16	26	50	10
30	0,666667	15	22	32	16	8	42	10
40	2	10	16	44	22	26	48	18
30	2	5	26	62	10	28	42	34
20	1,333333	15	15,5	19	12	21,5	18	11
10	0,666667	15	0	0	0	0	0	0
40	0	15	10	44	40	26	78	20
10	2	5	4,5	12,5	34,5	10	18,5	34,5
40	0	5	18	34	30	28	50	18
40	2	5	20	40	20	28	52	24
50	0	10	34	46	38	46	56	44
30	0,666667	5	2	18	12	10	50	6
20	0,666667	10	8	3	12,5	8	5	3
10	1,333333	10	0	0	0	0	0	0
40	1,333333	15	24	70	28	34	54	30
30	1,333333	10	28	38	16	28	46	30
40	0	10	12	44	30	14	58	34
50	0	15	12	45	26	30	40	46
10	0,666667	5	0	0	0	0	0	0
10	2	5	7,5	34	8	5	34,5	6
50	2	10	24	40	36	30	44	30
30	2	10	30	38	16	26	34	12
40	1,333333	15	28	68	28	20	38	30
40	0	5	10	40	20	20	80	24
40	0	15	30	62	40	20	80	60
10	0	15	0	0	0	0	0	0
10	0,666667	15	0	0	0	0	0	0
50	0,666667	15	10	30	24	10	32	16
40	2	5	28	34	30	42	76	48
50	1,333333	10	26	70	62	26	70	50
20	0,666667	5	6	20	2	6	28	2
50	2	5	24	30	20	20	60	30
40	0,666667	10	12	50	32	16	60	18
20	1,333333	10	20	90	10	22	78	24
20	2	15	10	54	10	16	82	22

30	1,33333	5	16	58	20	22	58	10
10	0	10	0	0	0	0	0	0
30	0,666667	10	14	30	18	14	50	10
10	1,33333	5	0	0	0	0	0	0
30	2	15	24	38	16	40	54	36
10	0	5	0	0	0	0	0	0
10	2	10	12,5	27,5	11	12	28	7
10	1,33333	15	0	0	0	0	0	0
10	0,666667	10	0	0	0	0	0	0
40	2	15	28	44	30	30	64	20
20	0	10	15,5	26	12,5	15	26	10
20	0	5	25	24	13	12	13	13
50	1,33333	5	20	66	30	26	42	36
40	0,666667	15	10	44	20	20	60	16
50	0	10	38	46	20	14	30	24
50	2	15	20	40	38	20	54	38
30	0	15	20	60	26	26	75	20
20	0	15	28	34	25	20	17,5	12,5
20	0,666667	15	8	16	8	8	28	2
20	1,33333	5	10	80	10	20	78	8
40	1,33333	10	32	44	26	32	46	28
50	1,33333	15	20	70	32	24	63	40
50	0,666667	5	10	52	22	12	70	34
50	0,666667	10	10	50	20	10	38	38
10	2	15	25	32	25	12	34,5	11
30	0	5	10	38	10	18	80	12
40	0,666667	5	5	30	22	12	60	8
50	0	5	10	40	20	14	42	26
40	0	10	26	30	20	20	80	30
30	0,666667	15	12	54	30	16	70	20
30	0,666667	5	10	28	18	14	44	6
30	1,33333	10	22	48	30	32	52	20
20	1,33333	15	10	90	30	10	82	34
30	2	5	16	52	8	24	66	28
40	1,33333	5	20	42	20	28	42	24
30	1,33333	15	30	50	24	12	55	20
20	2	5	10	30	10	10	78	22
30	0	10	20	60	14	26	80	20
20	2	10	10	30	14	18	82	26
10	1,33333	10	0	0	0	0	0	0
40	2	10	28	54	34	66	64	30
20	0,666667	10	8	24	4	6	20	6
50	1,33333	15	28	62	24	26	70	18
40	0,666667	15	8	30	20	10	48	18

30	1,33333	5	16	70	16	18	86	12
10	1,33333	15	0	0	0	0	0	0
40	0	5	20	34	18	36	76	14
20	2	10	16	76	14	24	90	20
10	1,33333	10	0	0	0	0	0	0
20	2	15	20	90	18	16	92	22
10	2	10	11	23	15	10	20	10
40	1,33333	5	18	40	20	28	40	16
50	2	15	28	40	38	30	50	40
50	0	15	24	44	14	18	34	18
10	2	15	9	26	20	21	15	25
50	2	5	26	42	30	28	60	34
10	0,666667	5	0	0	0	0	0	0
50	0	10	30	42	16	20	40	22
10	0	15	0	0	0	0	0	0
40	0,666667	10	12	32	22	6	40	16
10	0,666667	15	0	0	0	0	0	0
40	0	10	28	64	18	30	80	16
40	1,33333	15	26	56	18	28	50	18
30	1,33333	15	16	80	10	24	90	24
30	1,33333	10	18	76	12	22	86	20
10	0,666667	10	0	0	0	0	0	0
30	0	15	30	62	16	20	68	26
20	0,666667	15	5	20	7	8	10	21
40	0,666667	5	10	20	12	8	30	10
50	0,666667	15	8	44	26	6	44	24
40	1,33333	10	30	42	18	30	44	18
10	0	5	0	0	0	0	0	0
10	0	10	0	0	0	0	0	0
50	0,666667	10	8	50	20	6	38	22
20	1,33333	15	10	74	16	20	74	21
30	0,666667	10	15	30	12	14	56	8
30	0,666667	5	6	20	10	11	46	10
30	2	15	18	60	16	38	48	36
30	0	10	26	70	20	26	80	10
20	1,33333	5	8	46	4	20	84	10
30	2	10	28	62	20	30	48	12
20	0	5	10	110	52	18	48	30
50	1,33333	10	22	56	24	16	62	22
40	2	5	14	72	26	32	86	26
20	0	15	20	94	16	10	70	20
20	1,33333	10	24	56	16	26	50	20
10	2	5	8	21	12	6	20	10
30	2	5	24	60	10	30	50	28

30	0,666667	15	18	42	8	10	48	10
20	2	5	0	0	0	0	0	0
10	1,333333	5	0	0	0	0	0	0
50	0,666667	5	6	40	12	12	42	16
20	0,666667	10	12	17	6	4	21	8
50	1,333333	5	20	60	26	18	58	22
20	0,666667	5	5	12	7	5	21	8
50	0	5	20	44	10	26	50	12
50	2	10	28	56	36	30	60	50
20	0	10	10	90	18	24	54	18
30	0	5	28	70	20	10	100	34
40	0	15	14	80	16	32	86	18
40	2	15	26	70	26	32	68	20
40	2	10	10	70	22	36	72	18

Casc p-p: Prueba de cáscara para sustrato papel – papel.

Casc p-v: Prueba de cáscara para sustrato papel – vidrio.

Casc c-c: Prueba de cáscara para sustrato cartón – cartón.

Adh p-p: Prueba de adhesividad para sustrato cartón – cartón.

Adh p-v: Prueba de adhesividad para sustrato papel – vidrio.

Adh c-c: Prueba de adhesividad para sustrato cartón – cartón.