

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Síntesis y evaluación de un polímero degradable a partir de Almidón de papa.

Trabajo de graduación presentado por
Ariel Josué Natareno Méndez para
optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala
2012

Síntesis y evaluación de un polímero degradable a partir de almidón de papa.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Síntesis y evaluación de un polímero degradable a partir de almidón de papa.

Trabajo de graduación presentado por Ariel Josué Natareno Méndez para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

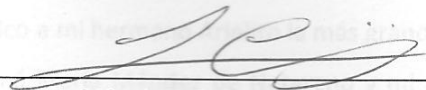
Guatemala
2012

Vo. Bo. :

PREFACIO

Este trabajo se lo dedico a mi mamá que me dio la inspiración para mi vida con la frente en alto. Gracias mamá por estar cada día a mi lado dándome el amor que solo una madre me puede dar, te agradezco tus deseos, tus regaños, tus palabras de fortaleza que me levantaron cada vez que caí y me hicieron fuerte. Gracias papá por enseñarme a trabajar duro, a no rendirme ante la adversidad y a salir adelante en cada momento de mi vida. Agradezco a mi tía Olga de Figueres y a mi tío Juan Carlos Figueres quienes fueron pilar de enseñanza, personas sabias que me guiaron para convertirme en profesional. A mi hermano mayor Christian Figueres y a mi esposa Jimena quienes me dieron consejos y palabras sabias para aconsejarme cada vez que lo necesitaba. A mi mamá y a mi esposa Anika de Figueres quienes me han demostrado que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar las metas. Agradezco también a mis padrinos Zoila de León y Gerardo de León quienes desde pequeño me incentivaron a buscar grandes metas y a ser una buena persona. Agradezco a la familia Álvarez Luna, a don Augusto, a la señora Mariela, a Paulina y a Anselmo, quienes me abrieron su corazón, especialmente a mi tía una vez más por su amor me ha enseñado que bella puede ser la vida. Agradezco a mis compañeros de estudios: El Santo, Basta, Cynthia, Melby, Regis, Gaby A., Andrea R., Luisa, W. y a todos los demás con quienes compartí experiencias. Agradezco especialmente a la Universidad del Valle por haberme formado en la excelencia. Por último, pero no menos importante, agradezco a Dios el cual permitió que todo esto fuera posible.

(f)



MSc. Luis Ernesto Núñez

Asesor

Colegiado: 1191

Tribunal Examinador:

(f)

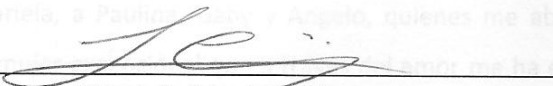


Ing. Gamaliel Zambrano.

Director del Departamento de Ingeniería Química

Colegiado: 686

(f)

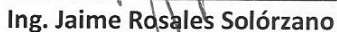


MSc. Luis Ernesto Núñez

Asesor

Colegiado: 1191

(f)



Ing. Jaime Rosales Solórzano

Colegiado: 320

Fecha de aprobación: Guatemala, 31 de enero de 2012.

PREFACIO

Este trabajo se lo dedico a mi hermano Arielito la más grande inspiración para mi vida “con la frente en alto”. A mi mamá María Méndez de Natareno y mi papá Ariel Natareno Peña que dedicaron su vida a enseñarme con el ejemplo que lo primero es Dios, luego la familia y luego el trabajo. Gracias mamá por estar cada día de mi vida a mi lado dándome el amor que solo una madre me puede dar, te agradezco tus desvelos, tus regaños, tus palabras de fortaleza que me levantaron cada vez que caí y me hicieron más fuerte. Gracias papá por enseñarme a trabajar duro, a no rendirme ante la adversidad y valorar cada momento de mi vida. Agradezco a mi tía Olga de Figueroa y a mi tío Juan Carlos Figueroa, porque fueron pilar de enseñanza, personas sabias que me guiaron para convertirme en profesional. A mi hermano mayor Christian Figueroa y su esposa Jimena de Figueroa, quienes siempre tuvieron oídos y palabras sabias para aconsejarme cada vez que lo necesite. A mi hermano Juan Carlos Figueroa y su esposa Anika de Figueroa quienes me han demostrado que con el corazón se pueden alcanzar las metas. Agradezco también a mis padrinos Zoila de De León y Octavio De León quienes desde pequeño me incentivaron a buscar grandes metas y a ser buena persona. Agradezco a la familia Álvarez Luna, a don Augusto, a la señora Mariela, a Paulina, Gaby y Angelo, quienes me abrieron su corazón, especialmente a Mariela una mujer excepcional que a través del amor me ha enseñado qué bella puede ser la vida. Agradezco a mis compañeros universitarios: El Santo, Basta, Cynthia, Mafer, Regis, Gaby A., Andrea B., Luisca, Wichon, Alejandro L., Ipe, Gloria, Gaby G., Analau, Guayo, Rodrigo y a todos los demás con los que compartí muy gratas experiencias. Agradezco especialmente a la Universidad del Valle de Guatemala para haberme formado en la excelencia. Por último, pero no menos importante, agradezco a Dios el cual permitió que todo esto fuera posible.

Ariel Josué Natareno Méndez

CONTENIDO

Página

PREFACIO	iv
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE GRÁFICOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix

CAPÍTULOS

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	15
IV. OBJETIVOS.....	16
V. PROBLEMA A RESOLVER	17
VI. METODOLOGÍA	18
VII. RESULTADOS	20
VIII. DISCUSIÓN	23
IX. CONCLUSIONES.....	31
X. RECOMENDACIONES	32
XI. BIBLIOGRAFÍA	33
XII. APÉNDICE	34
XIII. GLOSARIO	57

LISTA DE CUADROS

No.	Página
Cuadro 1. Descripción taxonómica de la patata	4
Cuadro 2. Fósforo recomendado para un rendimiento de 36,000kg/HA	7
Cuadro 3. Potasio recomendado para un rendimiento de 36,000kg/HA.....	7
Cuadro 4. Rendimiento de la obtención de almidón del agua de lavado de papa	20
Cuadro 5. Características físicas del almidón obtenido de papa	20
Cuadro 6. Cantidad de polímero obtenido a partir del almidón.....	21
Cuadro 7. Porcentaje de almidón obtenido según lo esperado	21
Cuadro 8. Resistencia de los polímeros.....	21
Cuadro 9. Densidad de los polímeros.....	22
Cuadro 10. Cambios de masa por aumento de humedad	22
Cuadro 11. Proporciones ideales de materia prima	22
Cuadro 12. Criterios económicos para la evaluación del proyecto.....	22
Cuadro 13. Proporciones utilizadas para la elaboración de los polímeros	34
Cuadro 14. Masas utilizadas para evaluar la resistencia/dureza del polímero	34
Cuadro 15. Valores de masa y volumen utilizados para determinar la densidad de los polímeros.....	35
Cuadro 16. Cambios de masa en los polímeros por humedad	35
Cuadro 17. Cambios de masa en los polímeros por humedad promedio.....	35
Cuadro 18. Costos de equipo para la planta de extracción de almidón de agua de lavado.....	36
Cuadro 19. Total de costos de equipo instalados.....	37
Cuadro 20. Calculo de gas necesario para el secador continuo.....	37
Cuadro 21. Características del tanque necesario según la tabla 18.3: Storage Tanks, Underwriter or API Standard. a. Small Horizontal Underwriter Label.....	38
Cuadro 22. Pagos de planilla turno diurno	39
Cuadro 23. Pagos de planilla turno mixto	40
Cuadro 24. Total de planilla.....	40
Cuadro 25. Capacidad necesaria del secador	41
Cuadro 26. Producción de almidón	41
Cuadro 27. Inversión Inicial	41
Cuadro 28. Costos Fijos	41
Cuadro 29. Costos Variables.....	42
Cuadro 30. Criterios para evaluación flujo de caja	43
Cuadro 31. Flujo de caja	44
Cuadro 32. Continuación de Flujo de caja	45
Cuadro 33. Préstamo.....	46

LISTA DE GÁFICOS

No.	Página
Gráfico 1. Papa utilizada.....	49
Gráfico 2. Solanum Tuberosum	49
Gráfico 3. Maceración de papa	50
Gráfico 4. Extracción de jugo.	50
Gráfico 5. Jugo extraído.	51
Gráfico 6. Levadura preparada.	51
Gráfico 7. Beaker para calentamiento.	52
Gráfico 8. Desecador.	52
Gráfico 9. Horno Sécador	53
Gráfico 10. Estufa agitadora	53
Gráfico 11. Balanza analítica	54
Gráfico 12. Probeta de 2L.....	54
Gráfico 13. Diagrama de Flujo del proceso	55
Gráfico 14. API ESTÁNDAR	56

RESUMEN

El objetivo del siguiente trabajo es diseñar un proceso para la extracción del almidón de las aguas de lavado de papa en una planta de alimentos, para su posterior utilización en la producción de un polímero verde. Se logró desarrollar un proceso en el que se extrae un 3% de almidón respecto a la masa de papa que se ingresa al proceso. El almidón obtenido presentó propiedades similares que el almidón de fécula de papa. Luego se realizó un desarrollo de distintos polímeros en los que se logró determinar que la forma más eficiente de utilizar los componentes es a una proporción de 59% de almidón, 18% agua, 15 % glicerina, 5% aceite vegetal y 3% cloruro de sodio, todo respecto a masa. Se obtuvo un polímero de almidón con propiedades físicas similares al papel Kraft y fue clasificado según su resistencia de 1676 Pa, su densidad 1.36 g/mL y su aumento de masa en la presencia de agua que fue del 41%. El costo de inversión para la implementación de una planta de obtención de almidón de papa y posterior proceso de desarrollo de polímeros degradables es de Q10,702,608.21. Calculando los costos de operación de la planta se estima que es necesario un préstamo de de Q10,426,370.75, para poder obtener un retorno de la inversión a los 2.53 años de estar operando la misma. La Tasa Interna de Retorno del proyecto es del 30%.

ABSTRACT

The aim of this next work is to design a process for the extraction o starch from the potato washing water, obtained from a food processing plant for a later use in the production of a green polymer. It was possible to develop a process that remove a 3% of starch from the original mass o potato tha entered the process. The resulting starch had properties similar to the starch obtained directly from the potato Afterwards we develop different polymers were it was determined that the most efficient proportion of the components was a rate of 59% of starch, 18% water, 15% glycerol, 5% vegetable oil and 3% Chloride of sodium. The polymer obtained got properties similar to kraft paper and was classified according to their strength of 1676 PA, density 1.36g/mL and increased mass in the presence of water which was 41%. The investment cost for the implementation of a plant to obtain potato starch and subsequent development process for a degradable polymer is of Q10,702,608.21. Calculating the costs of operating the plant is estimated that it requires a loan of Q10,426,370.75 in order to get a return of investment in 2.53 years and an internal rate of return for the project of 30%.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo principal la elaboración de un polímero degradable a partir del almidón de papa, obtenido mediante el secado del jugo del lavado y haciendo el análisis económico del proceso.

En Guatemala, la agricultura forma partes esencial de la economía por lo que existe gran variedad de verduras en el mercado, las cuales en su mayoría son cosechadas en el territorio nacional. El tubérculo de la papa no es la excepción y se consigue en distintas áreas del país, con mayor énfasis en el occidente. Se vende en grandes cantidades, tanto en el mercado para mayoristas como en venta al detalle.

Según investigaciones realizadas, se determinó que actualmente, en todas partes del mundo se están buscando opciones para poder compensar la gran cantidad de empaques que se utilizan y que luego se desechan, con la consecuente contaminación porque estos desechos no pueden ser manejados de forma natural ya que muchas veces su procesamiento puede ser muy costoso. Partiendo de esta premisa, se buscó una solución viable para realizar un polímero sencillo de elaborar y que fuera una opción para utilizarlo de alguna forma como empaque. En la literatura se encontró que ya se han realizado procedimientos para obtener un polímero degradable a partir del almidón de la yuca la cual también es un tubérculo, pero no se utiliza en grandes cantidades como la papa.

La papa se utiliza en procesos de la industria alimenticia para ser vendida como producto final luego de una serie de procesos. Dentro de estos procesos se encuentra el lavado de papa, en el cual el jugo absorbe gran cantidad de nutrientes dentro de los cuales se encuentran los leucoplastos que son los que proveen el almidón.

Se diseñó un proceso de extracción del almidón de la papa utilizando secado para obtenerlo de los jugos de lavado de la papa. Luego se procedió a realizar diversos polímeros con extendedores, plastificantes y humectantes económicos y comunes, variando sus proporciones en el proceso para evaluar bajo cuáles condiciones el polímero presentaba las mejores características. Se evaluó el desempeño de los polímeros bajo las mismas condiciones para encontrar la proporción idónea para su fabricación. Luego se procedió a realizar todo el análisis financiero para determinar la viabilidad de la fabricación del polímero.

II. ANTECEDENTES

A. Polímeros biodegradables:

Existe un esfuerzo mundial para desarrollar polímeros biodegradables que puedan ser utilizados en aplicaciones que actualmente se realizan con polímeros no biodegradables. Es importante que el término biodegradable sea correctamente utilizado para que se caracterice de forma correcta al polímero que se desea sintetizar. En los plásticos el término biodegradable se puede referir a fragmentación, pérdida de propiedades mecánicas o en ciertas ocasiones, a degradación a través de organismos vivientes. Las principales razones por las que no se tiene un término totalmente cerrado para los polímeros biodegradables son: (Bastolli, C. 2005)

- La variabilidad de la definición debido a los diferentes ambientes en los que el material se desea utilizar y su relativo impacto en cada uno de estos ambientes. (Bastolli, C. 2005)
- Las distintas opiniones que se tienen según sea la aproximación científica de la manera en que se determina la biodegradabilidad. (Bastolli, C. 2005)
- Distintas opiniones respecto a lo que implica la definición. (Bastolli, C. 2005)
- Diferencias lingüísticas alrededor del mundo. (Bastolli, C. 2005)

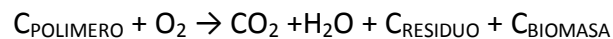
En el año 1992 se organizó un taller mundial de biodegradabilidad en el cual se pretendió reunir a expertos del ámbito para lograr estandarizar definiciones, estándares y metodologías de evaluación de los materiales. Se llegó a un acuerdo general sobre los siguientes puntos de los materiales biodegradables: (Bastolli, C. 2005)

- Para todos los fines prácticos de aplicación de la definición, los materiales manufacturados que se consideren biodegradables, deben estar relacionados con un método de desecho específico que puede ser composteo, tratamiento de aguas residuales, desnitrificación o tratamiento anaeróbico de lodos. (Bastolli, C. 2005)
- La tasa de degradación de un material sintetizado que se considera biodegradable tiene que ser consistente con el método de desecho y el resto de componentes del camino en que se trata, de manera que la acumulación esté controlada. (Bastolli, C. 2005)

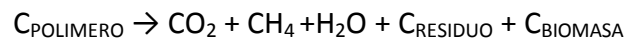
- Los productos de la biodegradación aeróbica de los materiales fabricados para ser biodegradables son dióxido de carbono, agua y minerales; y los productos intermedios incluyen biomasa y materiales con humedad. (Bastolli, C. 2005)
- Los materiales se deben biodegradar de forma segura y no con un impacto negativo en el proceso de desecho o el uso del producto de desecho. (Bastolli, C. 2005)

Ahora, desde la perspectiva química el proceso de biodegradación se puede definir de una forma correcta. Se pueden representar los procesos de biodegradación por medio de ecuaciones químicas. Por simpleza, el polímero en estas ecuaciones generales se considera que solamente está compuesto por carbón, hidrógeno y oxígeno. Otros compuestos por supuesto pueden estar presentes y aparecerían en formas oxidantes o reducidas luego de que se dé la biodegradación, dependiendo de si las condiciones son aeróbicas o anaeróbicas, respectivamente. (J. Edward, 1996)

Biodegradación aeróbica:



Biodegradación anaeróbica:



La biodegradación completa se da cuando no queda ningún residuo y la completa mineralización es establecida cuando el substrato original es completamente convertido en productos gaseosos y sales. Sin embargo, la mineralización es un proceso bastante lento bajo condiciones naturales debido a que algunos polímeros sometidos a biodegradación serán inicialmente transformados a biomasa. Por esto es que la biodegradación total, y no la mineralización, es la meta perseguida. (J. Edward, 1996)

La principal característica de los polímeros sintéticos es que son inactivos en medios biológicos, es decir que no interactúan con materia orgánica, por lo que solo se degradan por medios químicos. Ahora bien, los polímeros biodegradables poseen la característica de que pueden ser degradados tanto por medios biológicos (microbiana) como químicos. Los polímeros pueden clasificarse de acuerdo a qué tan susceptibles son a la degradación ya sea química o microbiana. (J. Edward, 1996)

B. Papa o patata:

1. **Descripción de la planta:** Su nombre científico *Solanum Tuberosum*. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

Cuadro 1. Descripción taxonómica de la patata.

Categoría	Grupo
Reino	Plantae
Phyllum	Manoliophyta
Clase	Magnolipsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Salanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>S. tuberosum</i>

Ésta es una planta que pertenece a las solanáceas y es originaria de América del sur. Se cultiva en todo el mundo, debido a que tiene tubérculos comestibles. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

a. Hoja: Las hojas se componen por 7 a 8 folios que se disponen de forma espiralada en los tallos. Son bifaciales, ambas epidermis están compuestas por células con paredes celulares sinuosas. Estas presentan tricomas en la superficie. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

b. Tallo: Se presentan tres tipos de tallos; uno aéreo de forma circular en el que se disponen las hojas compuestas. Además tienen dos tallos subterráneos: Los rizomas y los tubérculos (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

- Tallos aéreos: Estos son los que se originan a partir de las yemas que se tienen en el tubérculo que se utiliza como semilla. Se pueden tener erectos o decumbentes, aunque siempre tienden a inclinarse hacia el suelo según madura la planta. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)
- Rizomas: están formados por brotes laterales que son un tanto largos y nacen del tallo aéreo. Se alternan en subnudos que se ubican en los mismos tallos aéreos, tienden a presentar un crecimiento horizontal debajo de la superficie. Estos generan los tubérculos. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

c. **Tubérculos:** Este tallo de la papa es subterráneo y está engrosado para poder funcionar como órgano de almacenamiento para nutrientes. Estos se originan en los rizomas y empiezan como un engrosamiento radial. Los tubérculos están cubiertos por una exodermis que hace que los nutrientes del tubérculo estén protegidos. Estos tubérculos son comestibles y es la principal razón por la que se cultivan las papas. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

d. **Raíz:** consta de un sistema radical fibroso, ramificado y extendido que puede penetrar hasta casi un metro de profundidad. Esta planta que proviene de tubérculos carece de radícula. Las raíces se generan de semillas subterráneas. Desde los primeros estados de desarrollo, hasta que se da la formación de los tubérculos, se da un crecimiento rápido de la raíz. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

e. **Inflorescencia y flor:** la inflorescencia nace en el extremo del tallo. Al momento que la primera flor se expande se desarrollan nuevos tallos en los que se dan inflorescencias consecuentes. Las flores en la ramificación más cercana a la base de la planta son las que se abren primero, dando entre dos a tres flores por día. Estas permanecen abiertas de dos a cuatro días. La receptividad del estigma y la duración de producción de polen es de dos días. La fertilización se da en los dos días siguientes luego de la polinización. Las semillas que se producen gracias a los frutos obtenidos por la polinización son una mezcla de auto-polinizaciones con polinizaciones cruzadas. La mayor parte se da por autopolinización. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

f. **Fruto y semilla:** El fruto de la papa es una baya que tiene una forma muy similar a un tomate pequeño. Estas se encuentran agrupadas en racimos que se inclinan al suelo a medida que madura el fruto. Las semillas por otro lado son pequeñas y aplanadas, sus colores pueden variar y van desde un color café a un amarillo intenso. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

2. **Cultivo de la papa:** La papa se encuentra adaptada a climas fríos y se desarrolla en temperaturas que van desde los 12°C a los 14°C. Si se intenta cultivar en climas cálidos es de suma importancia que se utilicen variedades adaptadas, fertilización adecuada y riego. Los suelos ideales son los arenosos fértiles, que tengan soltura y profundidad para que sus raíces se puedan desarrollar, el pH se debe de mantener entre 4.5 a 7.5. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

Las papas no soportan suelos con demasiada compactación debido a que los tubérculos no se desarrollan adecuadamente. La semilla que se utiliza debe estar en buen estado debido a que los tubérculos son muy susceptibles a las enfermedades. La semilla sana es firme y no presenta grandes brotes, aunque si debe tenerlos debido a que una semilla sin brotes puede significar que no se está desarrollando adecuadamente. Cuando se está trabajando en lugares tropicales se tiende a quebrar la latencia de la semilla. Esto hace que la germinación se dé con mayor vigor que el que normalmente pudiera tener el tubérculo. Se puede dar de dos formas que básicamente cumplen con la mismas funciones: adicionando ácido gilberélico o con disulfuro de carbono. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

En la siembra de la papa se recomienda tener una separación entre surcos de 80-90 cm y una separación entre plantas de 25-30 cm debido a que la germinación del tubérculo ocupa un espacio considerable. Se utilizan entre 2,500 – 2,900 kg de semilla por hectárea de siembra. Esto da una población de entre 33,000 a 44,000 tubérculos por hectárea. Se puede hacer una siembra a mano en los surcos en los cuales se suele enterrar las semillas no más de 15 cm para que puedan germinar las florescencias. Se utilizan fertilizantes previos a la siembra para que las semillas tengan una buena nutrición incluso previo a la germinación. Para que el proceso de germinación se de forma inmediata es necesario que el ambiente sea favorable con la tierra húmeda y se tenga a la semilla completamente sumergida en este ambiente. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

- Fertilizantes:

El cultivo de la papa necesita grandes cantidades de nitrógeno, potasio y fósforo para que se dé una producción adecuada. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

Nitrógeno: se necesitan 0.45 unidades de nitrógeno por cada quintal de papa producido. El cálculo de la cantidad de nitrógeno que se debe aplicar debe considerar la cantidad de nitrógeno que ya está presente en el suelo. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

Fósforo:**Cuadro 2. Fósforo recomendado para un rendimiento de 36,000kg/HA.**

Nivel Relativo	Fósforo (P) - Bray ppm	Fósforo (P) - Olsen ppm	Fertilizante fósforo puro a aplicar por HA
Muy bajo	menos de 1	0-3	600
Bajo	1 a 2	3 a 6	480-600
Mediano	3 a 8	7 a 10	380-480
Alto	8 a 28	11 a 21	240-380
Muy Alto	28 =	21 +	240

Si se tiene un pH mayor a 7.5, el fósforo se debe aplicar en una banda de manera que se favorezca la disponibilidad. Si la tierra tiene alcalinidad, es recomendable aplicar una cantidad mayor de fósforo (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

Potasio:**Cuadro 3. Potasio recomendado para un rendimiento de 36,000kg/HA.**

Nivel Relativo	Potasio (K) ppm	Potasio (K) meq/100 ml	Fertilizante de potasio puro para aplicar
Muy bajo	0-50	0-0.12	600-750
Bajo	51-100	0.13 - 0.23	360-600
Mediano	101-150	0.24 - 0.33	120
Alto	151-250	0.34 - 0.38	0
Muy Alto	251 +	0.39+	0

Los problemas con potasio se dan más que nada en suelos arenosos. El consumo de la papa es de aproximadamente 1200 unidades por hectárea. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

Zinc, hierro y otros nutrientes: la papa es susceptible a las deficiencias de Zinc lo cual puede dañar considerablemente las cosechas. La deficiencia de Zinc es evidente cuando las flores no presentan las formas esperadas para una planta bien desarrollada. La forma más común de aplicar zinc es en forma de sulfato de zinc. Ahora, los problemas con el hierro se dan cuando existe demasiado carbonato de calcio en los suelos, poca materia orgánica disponible y el suelo es alcalino. Estas condiciones hacen que aunque el hierro esté disponible, la planta no puede procesarlo. Si existe deficiencia de hierro se tienen problemas para corregirlo, la mejor forma es aplicar estiércol previo a la siembra. El resto de nutrientes normalmente se encuentran disponibles por lo que su obtención no representa una consideración relevante.

El más relevante del resto de nutrientes es el azufre que se puede obtener aplicando un fertilizante de nitrógeno que contenga sulfato de amonio. Las papas no tienen tolerancia a la salinidad por lo que es importante que ésta se mantenga baja, a menos de 1 ppm. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

- Riego:

Se tienen dos tipos de riego: el previo a la siembra y el posterior. El riego pre siembra cumple dos funciones, la primera es tratar de llenar el perfil del suelo de manera que se pueda tener certeza que la siembra tendrá suficiente agua en caso de un sequía, y la segunda es que la humedad será adecuada para que empiece la germinación inicial de la semilla. El riego se debe realizar por lo menos una semana antes de que se empiece la siembra, debe ser un riego prolongado y se debe realizar en un suelo suelto para que la cantidad de agua infiltrada sea suficiente. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

El riego posterior a la siembra debe tener:

- Monitoreo de la humedad del suelo: Esto asegura que el riego se aplica en el momento adecuado y que la cantidad está realmente ayudando a la zona radicular. Este monitoreo se hace alrededor de la semilla durante el primer mes. La cantidad de agua no debe disminuir por debajo de un 30% de la cantidad inicial que se aplicó durante el riego previo a la siembra. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)
- Intervalos de riego: Estos dependen del tipo de suelo, el uso del agua y la capacidad del sistema de riego con el que se cuenta. El clima es un factor determinante para la cantidad de riego que se necesita para los suelos, si el cultivo se encuentra en medio de una sequía, es necesario reducir los intervalos de riego. Se le debe dar mucha importancia a si el tubérculo se encuentra en la etapa de engrosamiento, debido a que si en su desarrollo no se cuenta con suficiente agua, se puede causar un mal crecimiento. Si la cantidad de agua aplicada es demasiada en las primeras semanas, se pueden causar enfermedades de suelo y una mala germinación. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

- Cosecha:

Luego de 90 o 120 días de la siembra, el follaje de la papa empieza a adquirir un tono amarillento, por lo que se procede a cortar los tallos para obtener una cosecha uniforme y tubérculos suficientemente maduros. Una vez realizado el corte de los tallos, se deben esperar 15 días para comenzar la cosecha. Se pueden utilizar agroquímicos para quemar el follaje (Gramoxone o Paraquat) para iniciar la madurez de los tubérculos. Para cosechar debe voltearse el arado y empezar a sacar las papas; éstas se deben almacenar en un lugar frío y oscuro y sin mucha humedad. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

C. Proceso lavado de papa:

El lavado de papa se realiza a nivel industrial para poder prepararla previo a ingresar a un proceso de manufactura como lo puede ser elaboración de frituras o simplemente mejorar su aspecto previo a llegar al consumidor final. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

Existen dos tipos principales de lavado de papa, los cuales se describen a continuación:

- Lavado artesanal: las papas se ingresan a las bodegas en bultos los cuales se trasladan al área de lavado. En este punto las papas traen gran cantidad de tierra y suciedad que adquieren durante la cosecha. Se puede hacer una clasificación por tamaño previo al lavado, pero debido a que es artesanal normalmente se prefiere que sea posterior al lavado. Al tener una cantidad considerable de bultos acumulados en el área designada para el lavado, se procede a inyectarles agua mediante una manguera a presión durante unos minutos. Luego se procede a dividir el contenido de los bultos para que la cantidad de papa sea más manejable. Estas cantidades se colocan en zarandas de manera que se les continúa aplicando agua mientras se hace el movimiento que promueve el desprendimiento de la tierra. Luego se pasan a una clasificación de producto defectuoso. Los tubérculos que están en buen estado pero aún presentan alguna suciedad se pasan a un lavado mediante frotado y se pasan por algunos contenedores con agua. Luego se proceden a llenar bultos de 50 kg. El agua utilizada en este tipo de lavados es complicada de recuperar debido a que el proceso tiene pocas etapas para poder colocar receptores para el agua. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

- Lavado en máquina: el lavado de papa con máquina se da tanto en tanques con formas cúbicas como en cilindros. Estos tienen hileras de cepillos en posición horizontal. Durante el proceso de lavado se tiene un tanque lleno con agua en el cual se sumergen las papas que pasan por los cepillos. Durante el proceso el cilindro rota y la papa se limpia a través del contacto. El rozamiento con los cepillos y agua ablanda la tierra. Se limpian aproximadamente 4000 kg de papas por hora. Este proceso consume aproximadamente 2000 litros de agua por hora. Esto quiere decir que se necesitan 0.5litros de agua por kilogramo de papa lavado. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

En una planta que utiliza las papas como materia prima, el agua normalmente puede desecharse debido a que su tratamiento es costoso y no es rentable el hacer una remoción de todo el material orgánico que puede contener. Este se tira a ríos y fuentes de aguas con alta contenido de material orgánico y sedimento (restos vegetales). La presencia de nutrientes en los sedimentos principalmente fósforo y nitrógeno causa eutrofización, esto provoca crecimiento de algas que reducen el contenido de oxígeno presente y afecta los ecosistemas completos. (Faguenbaum M, 2002.) (Dimitri M., 1987)

D. Obtención del almidón de papa:

Actualmente ya se cuenta con un mercado amplio para la venta del almidón de papa, de tal cuenta se han desarrollado variedades de papa que tienen las siguientes propiedades: Alto rendimiento de almidón por hectárea, bajo contenido proteínico y bajo contenido de fibra. Dentro de las consideraciones que se deben hacer está el alto contenido de agua que tienen las papas, esto debido a que no se pueden almacenar por periodos de tiempo demasiado prolongados por lo que el proceso de obtención de almidón se debe hacer de forma continua y extensiva. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

La obtención del almidón no involucra operaciones complejas. Solamente son extracciones mecánicas del almidón del tubérculo y su posterior separación de los sólidos solubles. Los procesos utilizados son batch y continuo. La principal diferencia entre éstos se da en los métodos de separación y purificación del almidón. El rendimiento de un proceso Batch es de un 70% y de un proceso continuo de un 84%. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

Las principales etapas del proceso de obtención de almidón a nivel industrial involucra una serie de pasos que se describen a continuación: (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

- Flujo de tubérculos: se recibe la materia prima de un proveedor agrícola. Esta papa tienen características que le permiten dar un rendimiento alto de almidón. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Lavado: solamente se remueve la suciedad superficial para tener un almidón libre de contaminación. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Molienda: esta es una operación que busca extraer la mayor cantidad de los jugos del tubérculo mediante un proceso de pulverizado. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Adición de anhídrido sulfuroso diluido: éste se adiciona para que actúe como fungicida. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Separación: se utiliza para remover los sólidos que permanecen en los jugos y solo quedarse con los de alto contenido de almidón. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Filtrado (al vacío): se utilizan telas o filtros que retienen el almidón que viene en los jugos. Se puede aplicar vacío para que se facilite el paso de los jugos que no quedan retenidos en esta tela. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Secado: se puede utilizar una fuente de calor que evapora la mayor parte del agua del almidón y permite obtener un sólido (polvo) blanco. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

A continuación se describen unos procesos con mayor detalle:

Molienda: el objetivo de la molienda es reducir los tubérculos a pulpa y liberar el almidón. Las papas que ya están lavadas se pasan a un depósito abierto mediante un elevador de cangilones. Este depósito funciona como un alimentador para el resto de las operaciones. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

Separación:

- Primera separación: se bombea el jugo obtenido de la molienda a unos separadores compuestos por una serie de tamices rotatorios y zarandas. Las partículas grandes que quedan son diluidas y pasadas a un depósito. Las más finas junto con el almidón pasan hasta las zarandas inferiores.

Se agrega agua y se vuelve a recircular el jugo para filtrar cada vez más las partículas. Esto se hace para limpiar de forma efectiva el jugo y realmente tener partículas de almidón al final del proceso. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

- Separación del agua proteínica: esta operación se realiza en un separador centrífugo. El centrifugado es desechado y el almidón libre de proteína sale de la centrifugadora. En este proceso se pierde un 0.1% de almidón. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Primera refinación: se pasa el almidón obtenido por medio de la centrifugación por una zaranda para eliminar cualquier pulpa fina que haya quedado. Los tamices deben estar adecuadamente limpios para no contaminar el almidón.
- Segunda refinación: se realiza una centrifugación horizontal, esta separación remueve sólidos, proteínas y grasas y alguna cantidad de proteína pero permite obtener una cantidad elevada de almidón limpio. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- Filtrado al vacío: el almidón de la segunda refinación pasa por un proceso de filtración al vacío el cual da un producto con una humedad de entre 37 a 41%. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

Filtrado al vacío

El almidón húmedo proveniente de la segunda refinación es sometido a la acción de un filtro continuo al vacío, el que da un producto de calidad uniforme con 37 a 41% de humedad. Su funcionamiento es automático y requiere poca supervisión. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

El agua separadora en esta etapa puede ser utilizada en el lavado de las papas que salen del almacén. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

Secado

El secado tipo flash remueve rápidamente la humedad por el movimiento de las partículas húmedas en un flujo de aire caliente. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

La velocidad de transferencia de calor del aire a las partículas de almidón es alto (no más de 3 o 4 seg.). Es requerido para evaporar sustancialmente toda la humedad desde el sólido.

El aire caliente es producido quemando carbón, gases o cake en forma directa o indirectamente con intercambiadores de calor. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

E. Síntesis del polímero de papa:

Se realiza la maceración de la papa para obtener una masa inicial de pasta de papa. Luego se realiza un lavado el cual se deja reposar por unas horas para luego hacer el traslado del jugo obtenido a otro recipiente. Este jugo se pasa por unos filtros físicos varias veces para retener el almidón en las barreras. Luego de que se haya logrado una separación del almidón del agua se hará una decantación del agua para solo obtener el precipitado que será el almidón. Se harán los respectivos cálculos de rendimiento del procedimiento considerando la masa que se utilizó inicialmente y el almidón obtenido. El rendimiento adecuado sería una relación del 15% de almidón respecto a la masa inicial. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

- *Humectación:* para la humectación se puede utilizar tanto agua como glicerina. Esto permite que el almidón pueda ser manejable en las máquinas. La glicerina puede ser de grado industrial. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- *Plastificación:* utilizar glicerina, de manera que el proceso de humectación y de plastificación se encuentren íntimamente relacionados. Como otra opción se puede utilizar el alcohol polivinílico, pero los costos son elevados. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- *Lubricación:* para la lubricación se utilizará aceite de soya, el cual permitirá la manejabilidad de la mezcla y su separación sencilla de los moldes que se utilizarán.
- *Extensión:* para esta característica se planea utilizar la misma glicerina. De no ser factible el uso del mismo se procede a buscar algún tipo de celulosa o similar que lo sustituya. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- *Resistencia:* se encontró en la bibliografía que la sal común en proporciones controladas puede utilizarse para conferir características de resistencia al polímero de almidón. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)
- *Otros compuestos:* se pueden adicionar otros compuestos para que sea más efectiva la síntesis del polímero. (Revista EIA ISSN Diciembre 2007)

F. Evaluación de un polímero de almidón de papa:

Para llevar a cabo la evaluación se hacen láminas de los distintos polímeros sintetizados para someterlos a las siguientes pruebas. (R. Clough, 1993) (Seymour, R, 1997)

- *Resistencia:* para la resistencia se mide el estrés máximo que soporta la lámina de los polímeros bajo las mismas condiciones. Se analizará el polímero sometido a distintas masas y el tiempo que resiste al estrés a que éstas lo someten (estrés =Fuerza/área). (R. Clough, 1993)(Seymour, R, 1997)
- *Dureza:* se tomará como parte de la resistencia debido a que no se considerará un polímero para realizar algún tipo de producto estructural. (R. Clough, 1993)(Seymour, R, 1997)
- *Densidad:* la densidad del polímero se determinará mediante medios físicos.
- *Comportamiento en medio húmedo:* debido a que los polímeros naturales tienden a ser hidrofílicos, se mide cuál es el aumento másico y de volumen al estar contacto con el agua. (R. Clough, 1993) (Seymour, R, 1997)
- *Costo económico:* debido que al variar las proporciones de los compuestos del polímero también varían sus costos, se considerará el costo que tiene cada variación en los compuestos, sobre el producto final. (R. Clough, 1993) (Seymour, R, 1997)

III. JUSTIFICACIÓN

En el mundo se producen alrededor de 55 millones de toneladas de plástico anualmente de los cuales cerca del 40% están destinados a que se utilice como empaque o un medio de protección para otros productos. La mayor parte de estos polímeros no son degradables por medios naturales y suelen ser contaminantes comunes en todos los depósitos del mundo. Actualmente en la ciudad de Guatemala solo se cuenta con botaderos de Basura o Depósitos de basura, en los cuales no se realiza un manejo integral de los desechos provocando gran contaminación al medio ambiente. Según la Municipalidad de Guatemala anualmente se tiran cerca de 2,500,000 toneladas de basura de la cual el 15% son polímeros u otros derivados de la petroquímica, esto son 37,500 toneladas.

Esto llevó a pensar en un proyecto en el que se desarrollara un proceso químico que contribuyera tanto a nivel de una industria como al medio ambiente. Observando el problema que existe con la utilización de los polímeros a nivel mundial, se desarrolló un proyecto para obtener un polímero degradable del almidón extraído del lavado de papa. Se consideró que el polímero degradable puede ser utilizado para sustituir algún empaque, recubrimiento u otro material utilizado por las personas actualmente y ser muchas veces menos dañino que cualquiera de estos polímeros no degradables.

IV. OBJETIVOS

A. Generales

1. Realizar la síntesis y evaluación de un polímero obtenido a través del almidón de papa.

B. Específicos

1. Análisis de costos y evaluación de la factibilidad de producción del polímero a nivel industrial.
2. Realizar distintos polímeros a partir de las mismas materias primas de manera que se pueda evaluar qué proporciones de aditivos y almidón son las más adecuadas. Evaluar la eficiencia de la utilización de materiales en el proceso para mejorar el mejorarlo a medida que avanza la investigación.
3. Definir los análisis adecuados para la clasificación del polímero.
4. Sugerir productos de consumo en los que se puede utilizar el polímero.
5. Sugerir el procedimiento industrial con el que se puede obtener el mayor rendimiento de la síntesis del polímero.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente en Guatemala se procesa una gran cantidad de papa en la industria alimenticia. Esta papa se somete a un proceso de lavado en el que se le remueve gran cantidad de suciedad y otros componentes orgánicos. Debido al alto costo de tratamiento del agua, ésta se desecha sin que se le haya removido gran parte de la carga orgánica, es necesario el desarrollo de un proceso que haga rentable el tratar esta agua antes de desecharla.

VI. METODOLOGÍA

Previo a realizar las distintas etapas para elaborar nuestro producto, se realiza una revisión bibliográfica de los distintos aspectos que se deben considerar en el desarrollo de un proceso industrial que permita el tratamiento de las aguas de lavado de la industria de alimentos. Se le da especial énfasis al hecho de que el proceso de extracción de almidón se encuentra desarrollado y que la evaluación es en especial sobre la factibilidad de extraer almidón del agua residual del lavado.

A. Extracción del almidón de papa de las aguas de lavado.

En esta etapa del proceso se realizan distintos lavados de papa comercial para obtener jugos de lavado, simulando un proceso industrial. Se tratan cada uno de los jugos con los métodos investigados para la extracción del almidón de manera que se pueda evaluar el rendimiento del proceso. Se busca obtener en el mercado un almidón económico que sea similar al producto de la extracción de los jugos del lavado, de manera que se pueda utilizar en la elaboración del polímero de almidón de papa.

B. Elaboración de distintos polímeros obtenidos a partir del almidón del lavado de papa

Se define de qué manera se va a elaborar el polímero de almidón, y se manejan distintas proporciones de los componentes de forma que se obtengan diferentes productos para su posterior evaluación. Los polímeros se obtienen en planchas y las cantidades deben ser suficientes para que se puedan elaborar todas las pruebas físicas. Las principales etapas son:

- Humectación
- Plastificación
- Lubricación
- Extensión
- Resistencia

C. Evaluación de los polímeros

Esta etapa consiste en realizar los análisis físicos pertinentes a los polímeros obtenidos tomando en cuenta cuales son las características adecuadas que deben presentar los mismos para poder utilizarse a nivel comercial. Las pruebas a realizar son:

- *Resistencia*
- *Dureza*
- *Densidad*
- *Comportamiento en medio húmedo*

D. Análisis de costos de un proceso para extracción de almidón y elaboración del polímero.

Para que la investigación tenga relevancia se debe realizar un análisis de los costos de la inversión para realizar un proceso de tratamiento de las aguas de lavado de papa, incluyendo en el análisis la venta del producto obtenido.

VII. RESULTADOS

A. Extracción del almidón de papa de las aguas de lavado.

Cuadro 4. Rendimiento de la obtención de almidón del agua de lavado de papa.

Lavado	Papa (lb)	Papa (kg)	Agua (L)	Almidón (g)	Rendimiento
1	10	4.54	2.27	127	2.80%
2	10	4.54	2.27	135	2.98%
3	10	4.54	2.27	153	3.37%
4	10	4.54	2.27	109	2.40%
5	10	4.54	2.27	125	2.76%
6	15	6.80	3.40	159	2.34%
7	20	9.07	4.54	258	2.84%
8	25	11.34	5.67	357	3.15%
9	30	13.61	6.80	421	3.09%
10	50	22.68	11.34	617	2.72%

Rendimiento promedio (%)	3%
--------------------------	----

Cuadro 5. Características físicas del almidón obtenido de papa.

Lavado	Humedad	pH
1	13%	5
2	13%	5
3	13%	5
4	15%	5
5	15%	4
6	17%	5
7	13%	5
8	12%	5
9	12%	5
10	15%	4
Promedio	14%	4.80

B. Elaboración de distintos polímeros obtenidos a partir del almidón del lavado de papa

Cuadro 6. Cantidad de polímero obtenido a partir del almidón.

Polímero	Corrida 1 (g)	Corrida 2 (g)	Corrida 3 (g)	Corrida 4 (g)	Corrida 5 (g)
1	337.2	367.5	310.7	363.7	352.3
2	322.0	339.7	300.8	336.2	325.5
3	308.4	325.3	288.0	288.0	325.3
4	319.4	348.8	348.8	308.4	297.4
5	302.8	334.5	285.2	323.9	316.9
6	310.8	297.7	281.3	268.2	287.9
7	334.5	379.4	338.6	379.4	391.6
8	346.0	304.2	323.2	338.4	334.6

Cuadro 7. Porcentaje de almidón obtenido según lo esperado.

Polímero	Corrida 1 (g)	Corrida 2 (g)	Corrida 3 (g)	Corrida 4 (g)	Corrida 5 (g)	Promedio
1	89%	97%	82%	96%	93%	91%
2	91%	96%	85%	95%	92%	92%
3	91%	96%	85%	85%	96%	91%
4	87%	95%	95%	84%	81%	88%
5	86%	95%	81%	92%	90%	89%
6	95%	91%	86%	82%	88%	88%
7	82%	93%	83%	93%	96%	89%
8	91%	80%	85%	89%	88%	87%

C. Evaluación de los polímeros

Cuadro 8. Resistencia de los polímeros.

Polímero	Pa
1	977
2	977
3	1676
4	1536
5	977
6	1606
7	1676
8	1676

Cuadro 9. Densidad de los polímeros.

Polímero	Densidad (g/mL)
1	1.35
2	1.34
3	1.36
4	1.38
5	1.36
6	1.38
7	1.35
8	1.38

Cuadro 10. Cambios de masa por aumento de humedad

Polímero	Aumento de humedad (%)
1	90%
2	91%
3	41%
4	85%
5	78%
6	82%
7	80%
8	83%

D. Análisis de costos de un proceso para extracción de almidón y elaboración del polímero.

Cuadro 11. Proporciones ideales de materia prima

Almidón	Agua	Glicerina	Aceite vegetal	Cloruro de sodio
59%	18%	15%	5%	3%

Cuadro 12. Criterios económicos para la evaluación del proyecto

Criterios	Valor
tiempo de recuperación (años)	2.53
VAN	Q3,825,519.14
TIR	30%

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue realizar la síntesis y evaluación de un polímero obtenido a través del almidón de papa. Para este efecto, fue de vital importancia hacer un análisis de costos y evaluación de la factibilidad del montaje de una planta para la producción del polímero industrial. Se llevó a cabo la síntesis de distintos polímeros de almidón con las mismas materias primas pero con distintas proporciones de los aditivos para evaluar cuál proporción tuvo el mejor desempeño. Se propuso evaluar la eficiencia del proceso a lo largo de la investigación para mejorarlo al momento de la implementación. Mediante una revisión bibliográfica se definieron los análisis que debían dejar para la caracterización del polímero obtenido y con los resultados de estas pruebas se definió el producto final en el cual se puede utilizar el polímero evaluado. También se realizó el análisis económico para llevar a cabo el montaje de una planta procesadora de aguas de desecho del lavado de papa para la extracción del almidón y posterior transformación en polímero.

En la primera etapa del desarrollo de la experimentación, se extrajo almidón de las aguas de lavado de la papa que se comercializa en los mercados alimenticios de Guatemala. Esta papa es la *Solanum Tuberosum*. Para esta evaluación se procedió a comprar 250 libras de papa las cuales fueron sometidas a un proceso de lavado bastante fuerte y una posterior maceración para extraer la mayor cantidad de jugos. Esto se hizo para simular el proceso al que se somete la papa previo a entrar las etapas de consumo como alimento. En primera instancia se consideró llevar a cabo una fermentación anaeróbica de los jugos utilizando levadura, pero luego de someter este proceso a una serie de lavados, se generó gran cantidad de materia orgánica que no permitió que la decantación del jugo con el almidón fuera posible. Debido a estos inconvenientes se decidió utilizar el proceso tradicional de extracción del almidón mediante la utilización de filtros que retienen el almidón en su superficie y que permiten una limpieza en una serie de etapas. Luego de la maceración de la papa se agregó una cantidad de 0.5 L de agua por Kilogramo de papa procesado (Cuadro 4), este valor es el que se recomienda en la literatura para efectuar un lavado adecuado de la papa, en un proceso continuo la cantidad de agua se puede reducir un poco más pero se deben considerar las dimensiones del tanque de lavado y el tiempo invertido en el proceso. El jugo con el almidón se hizo pasar por distintos filtros elaborados con telas que retenían en su superficie el almidón que contenía el mismo. Estas telas emulan las que se utilizan en los filtros prensa, la diferencia fue que los distintos niveles de un filtro prensa se simularon utilizando varios pasos del jugo por distintos filtros.

Luego estos se sometieron a secado mediante la aplicación de un flujo de aire caliente que los atravesaba durante un periodo de 5 minutos y posteriormente se secaron al sol. Se logró obtener un rendimiento de la cantidad de almidón respecto a la masa de papa ingresada de 3%. Esta cantidad es bastante elevada considerando que la papa común contiene una cantidad del 15% de almidón respecto a su masa. Los problemas que se tuvieron cabe resaltar que la apariencia del almidón obtenido no era realmente atractiva, esto debido a que muchas de las suciedades que contenía la papa quedaban retenidas junto al almidón. Para corregir lo anterior, se podrían utilizar filtros de cartucho en los cuales se retendría la mayor parte de la suciedad y se permitiría el paso del jugo con el almidón para ser filtrado en prensas.

Luego de obtenidas las distintas muestras de almidón de los lavados se procedió a determinar dos de sus principales características físicas: humedad y pH (Cuadro 5). Estas características son las más adecuadas para determinar y comparar con otros almidones obtenidos de papa que se encuentran comercialmente, de manera que al momento de proceder a hacer las pruebas se utilicen estos para facilitar la disponibilidad de material para las mismas. Se encontró que la humedad promedio era de 15% y el pH promedio de 4, el almidón comercial que cumplía con estas características es el que se obtiene de Fécula de papa, el cual, según la literatura estudiada, tiene un rango de humedad de 13% - 14% y un pH en agua de 4 - 5.5. Se encontró un proveedor local que lo comercializa en bolsas de 1Kg y fueron éstas las utilizadas para realizar la experimentación.

Sabiendo que la extracción de almidón de las agua de lavado era posible con los métodos disponibles, se procedió a desarrollar distintos polímeros de almidón variando las proporciones de los componentes que se utilizan y que le confieren resistencia, siendo estos: humectantes, plastificantes, lubricantes y extensores. Para la humectación se utilizó agua y glicerina, ambos le permiten al almidón ser manejable y con la consistencia necesaria para garantizar la manipulación. En el caso del plastificante, también se usó glicerina, ésta tuvo la propiedad de hacer que el almidón pudiera ser manejado en las prensas y tomara las formas deseadas. Para la lubricación se utilizó aceite vegetal que permitió que el desempeño del polímero fuera adecuado en las prensas y en los moldes y que no tendiera a quedarse incrustado en áreas donde se dificultara la extracción. La resistencia se obtuvo mediante la adición de sal (Cloruro de sodio) en baja proporción. Este elemento permite que se homogenice la mezcla y que todo el polímero cuente con las mismas proporciones en toda su área. Las distintas mezclas de los aditivos y el almidón se hicieron considerando variar estas propiedades (Cuadro 13).

En primer lugar se procedió a calentar el agua para aumentar las propiedades de solubilidad de cada compuesto, procurando llevar a ebullición el agua pero con el cuidado de no perder masa de polímero que era tan importante para elaborar las posteriores planchas. Todos los aditivos son sencillos de disolver, pero la mejor forma que se determinó para disolver el almidón es agregándolo primero al agua caliente, para posteriormente agregarle todos los aditivos en las proporciones determinadas. Al tener listas las mezclas se procedió a colocarlas en los moldes de aluminio de manera que aquí se les aplicó presión para obtener las planchas requeridas. En este punto se determinó cuánto variaba la cantidad de material utilizado, respecto a la masa obtenida del polímero, y la variación fue mínima, redondeamos el 90% de material según lo esperado. Las planchas luego se dejaban “endurecer” dentro de los moldes para obtener ya el polímero final deseado. Este proceso de fabricación de planchas podría llevarse a cabo también en una serie de rodillos para poder operar en continuo. La ventaja de poder hacerlo con los rodillos sería calentarlos con vapor para poder obtener una plancha libre de humedad que ya podría utilizarse como el producto final. Se hicieron 8 distintos polímeros en 5 distintas corridas. El polímero designado como 3 fue el que presentó las mejores características ya que permitió un mejor manejo en los moldes y además se pudieron disolver fácilmente todos los aditivos y el almidón en las proporciones propuestas para éste. Los polímeros que presentaron más complicaciones en la operación fueron los 7 y 8, este resultado se atribuyó a la baja cantidad de agua que se tuvo en la mezcla.

Ya obtenidos los polímeros, se procedió a realizarles las pruebas pertinentes a cada uno para determinar su desempeño como polímeros bajo condiciones normales de operación. Las pruebas fueron de: resistencia, densidad y de sensibilidad a la humedad. Para la prueba de resistencia se utilizó un juego de masas que se colocó sobre una porción del polímero sostenido en ambos extremos para controlar con qué masa éste tendía a romperse (Cuadro 8), esto se hizo durante un tiempo máximo de 10 minutos. Se encontraron resultados diversos, en los cuales la resistencia se midió mediante la determinación de la presión que se ejercía en cada masa según su área de contacto. Los polímeros menos resistentes fueron los polímeros 1,2 y 5 los cuales se consideró que tuvieron un desempeño bajo, debido a la gran cantidad de humedad que contenían. Los polímeros que mejor se desempeñaron fueron el 3, 7 y 8, y se debió a que las proporciones de materiales permitieron que las planchas alcanzaran cierta rigidez y pudieran ser resistentes a la aplicación de fuerza con las masas. Los resultados de la resistencia en general fueron bastante bajos, esto quiere decir que las planchas de polímero obtenidas no se pueden utilizar para hacer recipientes que de alta resistencia.

Lo que sí se observó es que aunque se aplique presión, las planchas pueden resistir por algún tiempo la deformación que ésta implica.

Luego se evaluó la densidad de cada uno de los polímeros, se determinó utilizando una masa conocida del polímero con la cual se formaba una bola y luego se introducía en una probeta de 2 L que contenía una cantidad conocida de agua. Se determinó la cantidad de agua desplazada para saber el volumen que ocupaba nuestro polímero, esto se hizo lo más pronto posible debido a que se esperaba que todos nuestros polímeros fueran higroscópicos. Las densidades de nuestro polímero fueron relativamente pequeñas (Cuadro 9), esto es beneficioso debido a que muchas veces se desea utilizar los polímeros como un recubrimiento o alguna otra aplicación en la que no se quiere modificar la masa del producto ya que se puede elevar el costo de su transporte o complicar su manejo. El polímero con la densidad más baja fue el polímero No 4 y el polímero con la densidad más alta fue el polímero No. 8, estas diferencias fueron realmente mínimas. La densidad promedio de todos los polímeros fue de 1.36 g/mL, esta fue la densidad que presentaron los polímeros 3 y 5.

La siguiente prueba que se realizó fue la del análisis del aumento del contenido de humedad en los polímeros al introducirlos en agua. Esta prueba nos permitió determinar qué tan sensibles eran nuestros productos al encontrarse en contacto con el agua, lo cual se consideró como una situación normal para los polímeros que se utilizan como recubrimientos o de alguna forma se usan en almacenamiento de materiales. Ahora bien, todos los polímeros absorbieron una cantidad considerable de agua y la mayor parte aumentó su masa en un 80% o más, lo cual nos demuestra que los polímeros de almidón son bastante sensibles a la humedad. El mejor desempeño lo tuvo el polímero 3 el cual solamente aumento en 41% su contenido de humedad. Este comportamiento es totalmente aceptable para operaciones en las que realmente el contacto con humedad será solamente por situaciones extrañas y que se manejarán condiciones controladas.

Consecuencia del buen desempeño que tuvo el tercer polímero, fueron las proporciones de los materiales de su formulación las que se tomaron como base para el desarrollo de una planta de tratamiento de las aguas de lavado de papa, extracción del almidón y posterior elaboración del polímero. Las características del producto final obtenido fueron una resistencia alta respecto a los otros polímeros de 1676Pa, una densidad promedio de 1.36g/mL y un aumento de masa en condiciones muy húmedas de 41%. Estas características permiten que el polímero sea apto para utilizarse como un empaque exterior.

El desempeño es muy similar al papel kraft que se utiliza para recubrir alimentos como quesos que tienden a deteriorarse en presencia de humedad, por lo que serían adecuados para esta función. La ventaja radica en que ninguno de los compuestos utilizados es tóxico y todos son inertes para los alimentos. Se determinó entonces que las proporciones ideales de los componentes son: de 59% de almidón, 18% agua, 15 % glicerina, 5% aceite vegetal y 3% cloruro de sodio, todo respecto a masa

Para la evaluación de los costos económicos que representaba colocar una planta de tratamiento de las aguas obtenidas del lavado de papa, para obtener almidón y posteriormente elaborar un polímero del mismo, se consideraron todas las implicaciones que representa trabajar esta planta conjuntamente con la planta de producción de comida (Gráfico 13). Como primer punto se evaluaron los costos del equipo que se debía utilizar para montar la planta de tratamiento/producción (Cuadro 18). Los equipos considerados para la compra fueron los siguientes: Un secador continuo (que opera con gas), banda transportadora, bomba, taque abierto a la atmósfera, tanque de gas, filtro prensa y prensa de rodillos. El secador continuo de gas se utilizará para remover el agua que quede presente en el almidón luego de su extracción del agua de lavado. Este permite remover gran cantidad de agua en un tiempo relativamente corto lo cual fue dimensionado considerando el flujo de papa que entra en una planta común y el rendimiento de almidón encontrado en la sección de A (Cuadro 20). Se encontró que el secador debía tratar 0.11 ton/h de almidón, pero comercialmente solamente se encontraron secadores de entre 1 ton/h a 25ton/h, por lo que se decidió utilizar uno sobredimensionado a 1 ton/h. Luego se decidió comprar una banda transportadora en la que se pudiera colocar el producto final que se obtiene de la prensa de rodillos que elaborará nuestras planchas de polímero. Estas no necesitan ningún manejo especial por lo que luego de ser transportadas se podrían dejar secando en algún área designada. Otro equipo cotizado fue una bomba de 1 hp, la cual se utilizará para bombear las aguas del lavado hacia el filtro prensa que retendrá el almidón que contiene el jugo. Se cotizó un tanque abierto a la atmósfera en el cual se planea colocar los jugos del agua de lavado previo al paso por todo el proceso de extracción de almidón. Este se dimensionó para que pudiera llegar a contener 1500 galones aunque esta cantidad se logrará llenar en aproximadamente tres horas de operación, si la planta se encuentra parada, pero se espera que todo el proceso se haga en conjunto con la planta para que no exista acumulación de material. Luego se consideró fabricar un tanque de gas para el secador que operará de forma continua. Este se dimensionó (Cuadro 21) considerando una potencia de 30 kW y se determinó qué cantidad de gas debía consumir.

Su dimensionamiento se hizo de acuerdo a la Tabla 18.3 de los estándares de API (Storage Tanks, Underwriter or API Standard) (Gráfico 14). Luego se estimó el costo de un filtro prensa con el que se planea extraer el almidón utilizando los filtros de tela comunes que se removerán para ir acumulando el almidón para proceder al secado. El último equipo considerado para la compra, fue la prensa de rodillos que se utilizará para elaborar las planchas de polímeros que posteriormente podrán comercializarse. Para algunos equipos se utilizaron los valores sugeridos en el Perry para estimar los costos actuales de cada uno. Para otros equipos ya se contaba con el valor para el año 2011 debido a cotizaciones realizadas. Ahora bien, la inversión en equipo total ya con el respectivo flete internacional, el cual solo aplica para el secado continuo, IVA, Arancel, transporte interno e Instalación del equipo es de Q9,602,608.21 (Cuadro 19)

Luego de tener los valores para nuestra maquinaria se consideró el personal que iba a operar la planta de tratamiento de agua y de elaboración de almidón. Debido a que la operación se realizará paralela a la producción de la planta de alimentos, solamente se consideraron dos operarios los cuales laborarán en dos turnos, uno diurno y el otro mixto (Cuadros 22 y 23). Ellos operarán tanto la línea de secado de almidón como la de elaboración de polímero, esto debido a que no se tienen etapas de producción que lleven demasiado control. Se estimó la planilla para esta producción en Q68,325.27 anuales (Cuadro 24), considerando todas las prestaciones de ley más capacitaciones anuales para mantener a los operarios actualizados respecto a la operación del equipo. Posteriormente se procedió a hacer la suma de todos los costos de Inversión Inicial (Cuadro 27) y para esto se consideró un terreno (que probablemente pertenezca a la planta que ya está en operación) por un monto de Q100,000.00 (200m² en área industrial). La construcción del área de producción que básicamente es una fundición de cemento con su respectiva galera y los servicios que se necesitan en la planta, se estimó en Q1,000,000.00 debido a que se trata de una industria alimenticia y el área de elaboración del polímero se debe acondicionar similar al área de alimentos. Por último se consideró la maquinaria que ya se había estimado previamente en Q9,602,608.21. El total de la inversión inicial es de Q10,702,608.21. Para imprevistos se presupuestó un 2% de la inversión inicial lo cual representa Q214,056.16 y para capital de trabajo el 75% de los costos variables lo cual es equivale a Q3,571,407.07.

Para continuar con el análisis de costos de la planta se incluyeron cálculos de los costos fijos y los costos variables (Cuadros 28 y 29). Para los costos fijos se tomó en cuenta el mantenimiento de las máquinas en Q.40,000.00 anuales, cantidad que resulta reducida debido a que las mismas operan mediante medios mecánicos.

Para la limpieza se consideró utilizar servicios externos (contratación Outsourcing) en conjunto con la planta de alimentos, lo que representará un gasto anual de Q10,000.00. Se consideró también el alquiler de una oficina en la que se operarán las ventas, por un monto de Q60,000.00 anuales. Por último se estimó un 1% para la contratación de seguro. Para los costos variables se tomó como base una producción anual de almidón de 382,386 kg, esto para hacer referencia a la materia prima y a los otros diferentes rubros que se deben relacionar con las cantidades de producto producido. Los costos variables que se incluyeron en nuestro cálculo fueron la planilla de operarios, el gas consumido por nuestro secador, las telecomunicaciones, el costo de transporte para nuestro producto final, la glicerina que se utiliza para el polímero, el aceite vegetal, sal y el empaque. Todos los estimados fueron según la proporción de la fórmula utilizada para el polímero 3. Se encontró que el costo variable por kg de almidón que se tendrá en la planta será de Q12.45.

Ya con la estimación de todos los costos se procedió a realizar un análisis de flujo de caja (Cuadros 30, 31 y 32). En primero lugar al precio de venta se le estimó un aumento respecto a los costos variables de un 60%, lo cual no es representativo del margen. Se estima que con 1 kg de almidón se puede producir 1.62kg de polímero. Los costos de las materias primas consideradas en los costos variables se relacionaron con el almidón por lo que su dependencia con los kilogramos producidos de almidón son perfectamente estimables. Ahora el proyecto se evaluó en 10 años debido a que se consideró un tiempo prudencial para poder pagar un préstamo, del cual se habla posteriormente y para utilizar la maquinaria y equipo. Se encontró que el proyecto no era rentable si no se realizaba un préstamo, la TIR del proyecto sin utilizar un préstamo era de 7% lo cual no es adecuado ya que la tasa bancaria se encuentra en 12%. Ahora estimando el monto de un préstamo pagado a 10 años se encontró que para una TIR del 30% se necesita un préstamo de Q10,426,370.75 con una tasa del 7%. Esta tasa nos permitirá emitir pagos de Q594,159.99 anuales los cuales permiten tener un flujo de dinero favorable luego de todos los gastos. Se determinó que la inversión se recuperaba en 2.53 años manteniendo la venta constante y se tenía un valor actual neto de todo el proyecto de Q3,825,519.14.

Se esperó obtener un polímero que cumpliera con las características adecuadas para ser utilizado como material de empaque. Esto no fue así, el polímero tiene propiedades muy similares a un tipo de papel llamado Kraft lo cual también es útil pero no se puede comercializar de igual manera que un polímero como polietileno que se utiliza en las bolsas plásticas que son de alto consumo.

Otra aplicación adecuada para el polímero de almidón es la utilización como materia prima en cosméticos. Este se puede utilizar como espesante o de manera que contribuya a la estructura del producto final.

IX. CONCLUSIONES

- A. Se obtuvo un polímero de almidón con propiedades físicas similares al papel Kraft que además se puede utilizar en la industria de los cosméticos como espesante.
- B. El costo de inversión para la implementación de una planta de obtención de almidón de papa y posterior proceso de un polímero degradable fue de Q10,702,608.21. Calculando los costos de operación de la planta se estima que es necesario un préstamo de Q10,426,370.75, para poder obtener un retorno de la inversión a los 2.53 años de estar operando la misma. La Tasa Interna de Retorno del proyecto es del 30%.
- C. A través del desarrollo de distintos polímeros de almidón se encontró que la forma más eficiente de utilizar los componentes es a una proporción de 59% de almidón, 18% agua, 15 % glicerina, 5% aceite vegetal y 3% cloruro de sodio, todo respecto a masa.
- D. Para el polímero sintetizado se determinó que los análisis adecuados para encontrar su clasificación eran su resistencia de 1676 Pa, su densidad 1.36 g/mL y su aumento de masa en la presencia de agua que fue del 41%.
- E. El polímero obtenido se puede utilizar en aplicaciones de empaque sencillo como recubrimiento, pero no puede utilizarse como un medio para sustituir el polietileno.
- F. Usando un procedimiento de síntesis de almidón alternativo a un proceso que involucre el lavado de papa se pueden obtener rendimientos adecuados para considerar rentable el proyecto.

X. RECOMENDACIONES

- A. El agua de desecho de la extracción del almidón todavía posee una carga orgánica considerable, por lo que sería adecuado el realizar un análisis de la implementación de un proceso de remoción de la misma. Una parte de la ganancia de la planta de elaboración del polímero podría ser destinada a mantener este tratamiento para no permitir que la contaminación llegue a los efluentes de agua.
- B. Para hacer más eficiente el uso energético en el proceso de secado del almidón, se podría utilizar un secado que aproveche el vapor de la planta de alimentos que ya se encuentra instalada, se podría obtener un ahorro de Q146,000.00 en los gastos de gas.
- C. Utilizando medios mecánicos se logró una extracción considerable del almidón, ahora bien se podría utilizar aditivos para hacer más eficiente el proceso al igual que ciertos fungicidas que le den un período de vida más extenso a nuestra materia prima.
- D. En un estudio posterior se puede evaluar la síntesis del polímero en un proceso de lavado de papa a escala real.
- E. Para posteriores investigaciones se puede realizar el análisis de la estructura molecular del almidón obtenido de manera que se pueda determinar si las características físicas obtenidas coinciden con las esperadas según la estructura.
- F. Parte de estudios posteriores sería el análisis biológico del almidón tanto de recuentos aeróbicos como tiempos de degradación de mismo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Bastolli, C. *Handbook of biodegradable polymers*. Inglaterra. Smithers Rapra Technology. 2005.
- Dimitri M. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo 1. Plantas Cultivadas*. Buenos Aires, Argentina. 1987.
- Faguenbaum M, *Et al. Biología de Cultivos Anuales, Papa. Sistema Caulinar*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontifica Universidad Católica de Chile 2002.
- J. Edward *Hydrophilic Polymers. Performance with enviromental Acceptability*. ASC. Washington D.C. 1996.
- Municipalidad de Guatemala. *Unas 85 mil toneladas de basura dejaron las fiestas de fin de año*. <http://www.muniguate.com/index.php/obras/58-limpiaverde/8398-limpieza> Fecha de consulta: 02 de Enero de 2012.
- R. Clough, *Et al. Polymer Durability. Degradation, Stabiliization and lifetime prediction*. ASC. Washington D.C. 1993.
- Revista EIA ISSN *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradables a partir del almidón de yuca* 1794-1237 Número 8, p. 57-67. Diciembre 2007.
- Seymour, R. *Introducción a la química de los polímeros*. México. Reverte 1997.

XII. APÉNDICE

DATOS ORIGINALES

- Elaboración de distintos polímeros obtenidos a partir del almidón del lavado de papa

Cuadro 13. Proporciones utilizadas para la elaboración de los polímeros.

Polímero	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Almidón (g)	Agua (mL)	Glicerina (mL)	Aceite Vegetal (mL)	Cloruro de sodio(g)
1	5	70	200	100	40	20	10
2	5	70	200	80	40	20	5
3	5	100	200	60	40	20	10
4	5	100	200	100	20	40	5
5	10	70	200	80	20	40	10
6	10	70	200	60	20	40	5
7	10	100	200	40	100	40	5
8	10	100	200	40	100	10	5

A. Evaluación de los polímeros

Cuadro 14. Masas utilizadas para evaluar la resistencia/dureza del polímero

Polímero	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3		Corrida 4		Corrida 5		Promedio	
	Kg	cm2	Kg	cm2	Kg	cm2	Kg	cm2	Kg	cm2	kg	cm2
1	0.25	28.27	0.30	28.27	0.30	28.27	0.30	28.27	0.25	28.27	0.28	28.27
2	0.25	28.27	0.25	28.27	0.30	28.27	0.30	28.27	0.30	28.27	0.28	28.27
3	0.50	28.27	0.50	28.27	0.40	28.27	0.50	28.27	0.50	28.27	0.48	28.27
4	0.50	28.27	0.40	28.27	0.40	28.27	0.50	28.27	0.40	28.27	0.44	28.27
5	0.25	28.27	0.30	28.27	0.30	28.27	0.30	28.27	0.25	28.27	0.28	28.27
6	0.50	28.27	0.50	28.27	0.40	28.27	0.40	28.27	0.50	28.27	0.46	28.27
7	0.50	28.27	0.50	28.27	0.50	28.27	0.50	28.27	0.40	28.27	0.48	28.27
8	0.50	28.27	0.50	28.27	0.40	28.27	0.50	28.27	0.50	28.27	0.48	28.27

Cuadro 15. Valores de masa y volumen utilizados para determinar la densidad de los polímeros

Polímero	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3		Corrida 4		Corrida 5		Promedio	
	g	mL	g	mL	g	mL	g	mL	g	mL	g	mL
1	5.1	3.7	5.0	3.8	5.0	3.7	5.1	3.7	4.9	3.7	5.0	3.7
2	5.0	3.8	5.0	3.7	5.0	3.7	5.0	3.7	5.0	3.7	5.0	3.7
3	4.9	3.6	5.0	3.5	4.9	3.6	5.0	3.6	4.9	3.8	4.9	3.6
4	5.2	3.7	5.0	3.7	5.1	3.7	5.0	3.7	5.2	3.7	5.1	3.7
5	5.0	3.8	5.0	3.7	5.0	3.6	5.0	3.7	5.1	3.7	5.0	3.7
6	5.0	3.7	5.1	3.7	5.0	3.7	5.0	3.5	5.0	3.6	5.0	3.6
7	5.0	3.7	5.0	3.7	5.0	3.7	5.0	3.7	5.0	3.7	5.0	3.7
8	5.1	3.7	5.1	3.7	5.1	3.7	5.1	3.7	5.1	3.7	5.1	3.7

Cuadro 16. Cambios de masa en los polímeros por humedad

Polímero	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3		Corrida 4		Corrida 5	
	Inicial (g)	Final (g)	Inicial (g)	Final (g)	Inicial (g)	Final (g)	Inicial (g)	Final (g)	Inicial (g)	Final (g)
1	20	37.20	20	38.50	20	37.40	20	37.70	20	38.90
2	20	38.40	20	37.70	20	38.20	20	39.50	20	37.50
3	20	27.40	20	28.70	20	27.00	20	29.30	20	28.40
4	20	37.20	20	36.40	20	37.50	20	36.80	20	37.30
5	20	34.50	20	36.80	20	37.50	20	35.40	20	33.50
6	20	36.50	20	37.40	20	35.80	20	34.80	20	37.80
7	20	35.80	20	38.40	20	34.70	20	37.90	20	33.50
8	20	37.30	20	34.80	20	35.50	20	37.50	20	38.20

Cuadro 17. Cambios de masa en los polímeros por humedad promedio

Polímero	Promedio	
	Inicial (g)	Final (g)
1	20.00	37.94
2	20.00	38.26
3	20.00	28.16
4	20.00	37.04
5	20.00	35.54
6	20.00	36.46
7	20.00	36.06
8	20.00	36.66

B. Análisis de costos de un proceso para extracción de almidón y elaboración del polímero.

Cuadro 18. Costos de equipo para la planta de extracción de almidón de agua de lavado

Flete internacional	3%	Coefficiente intalado y trabajando	3.8
Iva	12%	Indice de Marshal	1670
Arancel	0%		
Transporte interno	1%	Indice de Tabla	1000
Tipo de cambio	7.80		

No	Descripción	Capacidad	Unidades medida	Material
1	Secador Continuo	1	ton/h	c/S
2	Banda Transportadora	1	ton/h	c/S
3	Bombas	1	hp	N/A
4	Tanque abierto a la atmósfera Acero al carbón	1500	gal	c/S
5	Tanque Gas	2000	gal	c/S
6	Fitro prensa	2500	litros/h	c/s
7	Rodillos	0.5	ton/h	c/s

No	Descripción	Unidades	Costo UNITARIO	costo total
1	Secador Continuo	1	\$ 230,000.00	\$ 230,000.00
2	Banda Transportadora	1	\$ 511.88	\$ 511.88
3	Bombas	1	\$ 801.90	\$ 801.90
4	Tanque abierto a la atmósfera Acero al carbón	1	\$ 5,922.02	\$ 5,922.02
5	Tanque Gas	1	\$ 16,621.71	\$ 16,621.71
6	Fitro prensa	1	\$ 7,000.00	\$ 7,000.00
7	Rodillos	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
	TOTAL		\$ 253,857.50	\$ 253,857.50

No	Descripción	Al 2011
1	Secador continuo	\$ 230,000.00
2	Banda transportadora	\$ 511.88
3	Bombas	\$ 1,339.17
4	Tanque abierto a la atmósfera Acero al carbón	\$ 9,889.77
5	Tanque Gas	\$ 27,758.26
6	Fitro prensa	\$ 7,000.00
7	Rodillos	\$ 3,000.00
	TOTAL	\$ 279,499.08

Cuadro 19. Total de costos de equipo instalados

Flete internacional	\$	236,900.00
Iva	\$	320,766.97
Arancel	\$	320,766.97
Transporte interno	\$	323,974.64
En Q	Q	2,527,002.16

TOTAL INSTALADO EQUIPO	Q	9,602,608.21
-------------------------------	----------	---------------------

Cuadro 20. Cálculo de gas necesario para el secador continuo

P secador	30	kW
Cp gas propano	46350	kJ/kg

CONSUMO										COSTO ANUAL
2.33	kg/h	5.14	lb/h	123.25	lb/día	739.52	lb/semana	35,496.81	lb/año	Q145,536.92

Densidad	0.508	kg/L
----------	-------	------

Consumo semanal	660.50	L/semana
Consumo semanal	174.48617	gal/semana

Cuadro 21. Características del tanque necesario según la tabla 18.3: Storage Tanks, Underwriter or API Standard. a. Small Horizontal Underwriter Label

Capacidad		2000	galones
Dimensiones	Diámetro	64	pulgadas
	Longitud	12	ft
	Espesor	1/5	in
Peso		1950	lb
Precio		\$ 16,621.71	

Cuadro 22. Pagos de planilla turno diurno

Turno diurno		
Base	Salario diario	Q56.00
	Salario mensual	Q1,680.00
Costo	Hora Ord	Q7.00
	Hora Ext	Q10.50
	Hora EE	Q14.00
Sueldo semanal		
Horas trabajadas		
Ordinarias	48	Q336.00
Extra-ordinarias	0	Q0.00
EE-ordinarias	0	Q0.00
	Total	Q336.00
Septimo		
	Total	Q56.00
Sueldo anual sin prestaciones		
	Cantidad	Salario
Semanas al año	48	Q18,816.00
Asuetos y feriados		Q700.00
Bono mensual		Q3,000.00
Prestaciones		
Aguinaldo	8.33%	Q1,567.37
Bono 14	8.33%	Q1,567.37
Pasivo	8.33%	Q1,567.37
IRTRA	1.00%	Q188.16
IGSS	10.67%	Q2,007.67
INTECAP	1.00%	Q188.16
Capacitacion	8.33%	Q1,567.37
	Total	Q8,653.48
SALARIO ANUAL CON PRESTACIONES		Q31,169.48
Número de Operarios		
		1
Total		Q31,169.48

Cuadro 23. Pagos de planilla turno mixto

Turno mixto		
Base	Salario diario	Q56.00
	Salario mensual	Q1,680.00
Costo	Hora Ord	Q8.00
	Hora Ext	Q12.00
	Hora EE	Q16.00
Sueldo semanal		
Horas trabajadas		
Ordinarias	42	Q336.00
Extra-ordinarias	6	Q72.00
EE-ordinarias	0	Q0.00
	Total	Q408.00
Septimo		
	Total	Q68.00
Sueldo anual sin prestaciones		
	Cantidad	Salario
Semanas al año	48	Q22,848.00
Asuetos y feriados		Q800.00
Bono mensual		Q3,000.00
Prestaciones		
Aguinaldo	8.33%	Q1,903.24
Bono 14	8.33%	Q1,903.24
Pasivo	8.33%	Q1,903.24
IRTRA	1.00%	Q228.48
IGSS	10.67%	Q2,437.88
INTECAP	1.00%	Q228.48
Capacitacion	8.33%	Q1,903.24
	Total	Q10,507.80
SALARIO ANUAL CON PRESTACIONES		Q37,155.80
Número de Operarios		
		1
Total		Q37,155.80

Cuadro 24. Total de planilla

PLANILLA ANUAL	Q68,325.27
-----------------------	-------------------

Cuadro 25. Capacidad necesaria del secador

Rendimiento	Papa kg/h	Almidón kg/h
2.85%	4000	113.81

Almidón ton/h
0.11

Secador ton/h
1

Cuadro 26. Producción de almidón

Material que ingresa kg/h	114
Material anual	382,386
Producción en Kg	382,386

Cuadro 27. Inversión Inicial

Rubro	Monto
Terreno	Q 100,000.00
Construcción	Q 1,000,000.00
Maquinaria	Q 9,602,608.21
TOTAL	Q 10,702,608.21

Imprevistos	Q 214,052.16
Capital de trabajo (75% de los costos variables)	Q 3,571,407.07

Cuadro 28. Costos Fijos

Descripción	Monto
Matenimiento de máquinas	Q 40,000.00
Limpieza	Q 10,000.00
Alquiler de oficina	Q 60,000.00
Seguro (1% inv inicial)	Q 107,026.08

Total	Q 217,026.08
--------------	---------------------

Cuadro 29. Costos variables

Descripción	Monto
Planilla de operarios	Q 68,325.27
Costos energéticos (gas)	Q145,536.92
Telecomunicaciones	Q 7,200.00
Costos de transporte	Q 60,000.00
Glicerina	Q 4,041,069.74
Aceite vegetal	Q 152,954.49
Sal	Q 191,193.11
Empaque	Q 95,596.56

Total	Q 4,761,876.10
Producción total kg	382,386

Costo variable/kg producido	Q 12.45
------------------------------------	---------

Cuadro 30. Criterios para evaluación flujo de caja

INVERSIÓN		AÑOS DEPRECIACIÓN	Valor de rescate
Terreno	Q 100,000.00		
Construcción	Q 1,000,000.00	10	Q -
Mobiliario	Q -	10	Q -
Maquinaria	Q 9,602,608.21	10	Q 960,260.82
Vehiculos	Q -	10	Q -
Capital de trabajo	Q 3,571,407.07		
imprevistos	Q 214,052.16		

Costos FIJOS	Q 217,026.08
Costos variables por kg de almidón	Q 12.45

Interes VAN	7%
Tasa bancaria	12.00%

Cuadro 12. Criterios económicos para la evaluación del

Criterios	Valor
tiempo de recuperación (años)	2.53
VAN	Q3,825,519.14
TIR	30%

Cuadro 31. Flujo de caja

Precio de venta (el kg)	Q	20.00
Inversión	Q	10,702,608.21
Préstamo	Q	(10,426,756.28)

Pago de préstamo	Q	1,845,370.75
------------------	---	--------------

AÑO	0	1	2	3	4
Kilogramos		382,386.22	382,386.22	382,386.22	382,386.22
Ingresos	Q	7,647,724.49	Q 7,647,724.49	Q 7,647,724.49	Q 7,647,724.49
Costos fijos	Q	(217,026.08)	Q (217,026.08)	Q (217,026.08)	Q (217,026.08)
Costos Variables	Q	(4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)
Dep construcción	Q	(100,000.00)	Q (100,000.00)	Q (100,000.00)	Q (100,000.00)
Dep Mobiliario	Q	-	Q -	Q -	Q -
Dep Maquinaria	Q	(864,234.74)	Q (864,234.74)	Q (864,234.74)	Q (864,234.74)
Dep vehículo	Q	-	Q -	Q -	Q -
Utilidades antes de impuestos	Q	1,704,587.57	Q 1,704,587.57	Q 1,704,587.57	Q 1,704,587.57
(impuestos)	Q	(528,422.15)	Q (528,422.15)	Q (528,422.15)	Q (528,422.15)
Utilidades netas	Q	1,176,165.42	Q 1,176,165.42	Q 1,176,165.42	Q 1,176,165.42
Valor en libros	Q	-	Q -	Q -	Q -
Depreciación	Q	964,234.74	Q 964,234.74	Q 964,234.74	Q 964,234.74
(Capital de trabajo)	Q	(3,571,407.07)	Q -	Q -	Q -
(Inversión)	Q	(10,702,608.21)	Q -	Q -	Q -
Imprevistos	Q	(214,052.16)	Q -	Q -	Q -
Amortización	Q	(594,159.99)	Q (665,459.19)	Q (745,314.29)	Q (834,752.01)
Prestamo	Q	10,426,756.28			
Flujo de caja	Q	(4,061,311.16)	Q 1,546,240.17	Q 1,474,940.97	Q 1,395,085.87
Valor presente	Valor presente	(Q1,445,084.27)	(Q1,288,270.56)	(Q1,138,805.63)	(Q996,072.72)
Payments	Payments	Q1,546,240.17	Q712,531.87	Q433,943.78	Q294,068.67

Cuadro 32. Continuación de Flujo de caja

AÑO	5	6	7	8	9	10
Kilogramos	382,386.22	382,386.22	382,386.22	382,386.22	382,386.22	382,386.22
Ingresos	Q 7,647,724.49	Q 7,647,724.49	Q 7,647,724.49	Q 7,647,724.49	Q 7,647,724.49	Q 7,647,724.49
Costos fijos	Q (217,026.08)	Q (217,026.08)	Q (217,026.08)	Q (217,026.08)	Q (217,026.08)	Q (217,026.08)
Costos Variables	Q (4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)	Q (4,761,876.10)
Dep construcción	Q (100,000.00)	Q (100,000.00)	Q (100,000.00)	Q (100,000.00)	Q (100,000.00)	Q (100,000.00)
Dep Mobiliario	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Dep Maquinaria	Q (864,234.74)	Q (864,234.74)	Q (864,234.74)	Q (864,234.74)	Q (864,234.74)	Q (864,234.74)
Dep vehículo	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Utilidades antes de impuestos	Q 1,704,587.57	Q 1,704,587.57	Q 1,704,587.57	Q 1,704,587.57	Q 1,704,587.57	Q 1,704,587.57
(impuestos)	Q (528,422.15)	Q (528,422.15)	Q (528,422.15)	Q (528,422.15)	Q (528,422.15)	Q (528,422.15)
Utilidades netas	Q 1,176,165.42	Q 1,176,165.42	Q 1,176,165.42	Q 1,176,165.42	Q 1,176,165.42	Q 1,176,165.42
Valor en libros	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Depreciación	Q 964,234.74	Q 964,234.74	Q 964,234.74	Q 964,234.74	Q 964,234.74	Q 964,234.74
(Capital de trabajo)	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
(Inversión)	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Imprevistos	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
Amortización	Q (934,922.25)	Q (1,047,112.92)	Q (1,172,766.47)	Q (1,313,498.45)	Q (1,471,118.26)	Q (1,647,652.45)
Prestamo						
Flujo de caja	Q 1,205,477.91	Q 1,093,287.24	Q 967,633.69	Q 826,901.71	Q 669,281.90	Q 492,747.71
Valor presente	(Q859,489.09)	(Q728,503.45)	(Q602,593.63)	(Q481,264.33)	(Q364,045.01)	(Q250,487.95)
Payments	Q209,621.39	Q152,836.96	Q111,813.19	Q80,596.26	Q55,875.98	Q35,663.85

Flujo de caja	Q 6,915,934.16
Valor presente	Q (8,154,616.64)
Payments	Q 3,633,192.13

Cuadro 33. Préstamo

Año	Deuda		Pago		Interes		Amortizacion	
1	Q	(10,426,756.28)	Q	1,845,370.75	Q	(1,251,210.75)	Q	(594,159.99)
2	Q	(9,832,596.29)	Q	1,845,370.75	Q	(1,179,911.56)	Q	(665,459.19)
3	Q	(9,167,137.10)	Q	1,845,370.75	Q	(1,100,056.45)	Q	(745,314.29)
4	Q	(8,421,822.81)	Q	1,845,370.75	Q	(1,010,618.74)	Q	(834,752.01)
5	Q	(7,587,070.80)	Q	1,845,370.75	Q	(910,448.50)	Q	(934,922.25)
6	Q	(6,652,148.55)	Q	1,845,370.75	Q	(798,257.83)	Q	(1,047,112.92)
7	Q	(5,605,035.63)	Q	1,845,370.75	Q	(672,604.28)	Q	(1,172,766.47)
8	Q	(4,432,269.16)	Q	1,845,370.75	Q	(531,872.30)	Q	(1,313,498.45)
9	Q	(3,118,770.71)	Q	1,845,370.75	Q	(374,252.49)	Q	(1,471,118.26)
10	Q	(1,647,652.45)	Q	1,845,370.75	Q	(197,718.29)	Q	(1,647,652.45)

B. Datos calculados

A. Rendimiento de almidón (Cuadro 4 pág 20):

$$\frac{\text{kg de almidón}}{\text{kg papa}} = 159g \text{ almidón} * \frac{1kg \text{ almidón}}{1000 g \text{ almidón}} * \frac{1}{6.98kg \text{ de papa}} * 100\% \\ = 2.34\%$$

B. Porcentaje de almidón obtenido según lo esperado (Cuadro 5 pág 20):

$$\frac{g \text{ de polímero obtenido}}{g \text{ de polímero esperado}} = \frac{337.2 g \text{ de polímero}}{378.86 g \text{ polímero esperado}} * 100\% = 89\%$$

C. Cantidad de polímero esperado (Cuadro 7 pág 21):

$$\begin{aligned} & \text{masa de almidón} + \text{masa } H_2O + \text{masa de glicerina} + \text{masa de aceite} \\ & \quad + \text{masa de NaCl} \\ & 200g \text{ almidón} + 100mL H_2O * \frac{1g}{1mL} + 40mL \text{ gliceriana} * \frac{1.26g}{1mL} + 20mL \text{ aceite} \\ & \quad * \frac{0.922g}{1mL} + 10g \text{ NaCl} = 378.86 \text{ gramos de polímero} \end{aligned}$$

D. Resistencia del polímero (Cuadro 9 pág 22):

$$\frac{F_{\text{ejercida por el peso}}}{\text{Área}} = \frac{0.28 kg * 9.87m/s}{28.27 cm^2 * \frac{1m^2}{100^2cm^2}} = 977 Pa$$

E. Densidad del polímero (Cuadro 10 pág 22):

$$\frac{\text{masa}}{vf - vo} = \frac{5g}{803.7mL - 800mL} = 1.35g/mL$$

F. Aumento de humedad % (Cuadro 11 pág. 22):

$$\frac{\text{masa final} - \text{masa inicial}}{\text{masa inicial}} = \frac{37.94g - 20g}{20g} = 90\%$$

G. Gas del secado (Cuadro 20 pág 37):

$$\begin{aligned} \frac{\text{potencia}}{\text{cp del gas}} &= \text{flujo} = \frac{30kW}{46350kJ} * \frac{3600s}{1h} = 2.33kg/h \\ 2.33kg &* \frac{2.204lg}{1kg} = 5.14lg/h \\ \frac{5.14lg}{h} * \frac{24h}{1dia} &= \frac{123.25lb}{día} \\ \frac{123.25lb}{sía} * \frac{7 días}{1 semana} &= 739.52lb/semana \\ \frac{739.52lb}{semana} * \frac{48semanas operación}{1 año laboral} &= 35,496.81 lb/año \\ \frac{Q4.10}{1lbgas} * 35,496.81 lb \frac{gas}{1año} &= \frac{Q145,536.92}{año} \end{aligned}$$

H. Capacidad necesaria del secador(Cuadro 25 pág 40):

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} * \text{Flujo de papas} &= \text{almidón producido} \\ 2.85\% * 4000 \frac{kg papa}{h} &= 113.81 \frac{kg almidón}{h} \end{aligned}$$

I. Estimación de costo de equipo "bomba" (Cuadro 27 pág 41):

$$\begin{aligned} \text{Costo de equipo} &= Ce = C1 * \left(\frac{1}{10}\right)^{0.3} \\ Ce &= \$801.90 \end{aligned}$$

J. Costo variable de materia prima (Cuadro 29 pág 41):

$$\begin{aligned} &\frac{Q8}{\frac{\text{galon de glicerina}}{40 mL}} \\ &\frac{Q8}{\text{galon de glicerina}} * \frac{1galon}{3785mL} * \frac{40mL}{200 g de almidón} * \frac{1000g}{1 kg} = \frac{Q10.57}{kg almidón} \end{aligned}$$

C. Proceso de fabricación del almidón

Gráfico 1. Papa utilizada



Gráfico 2. Solanum Tuberosum



Gráfico 3. Maceración de papa.



Gráfico 4. Extracción de jugo.

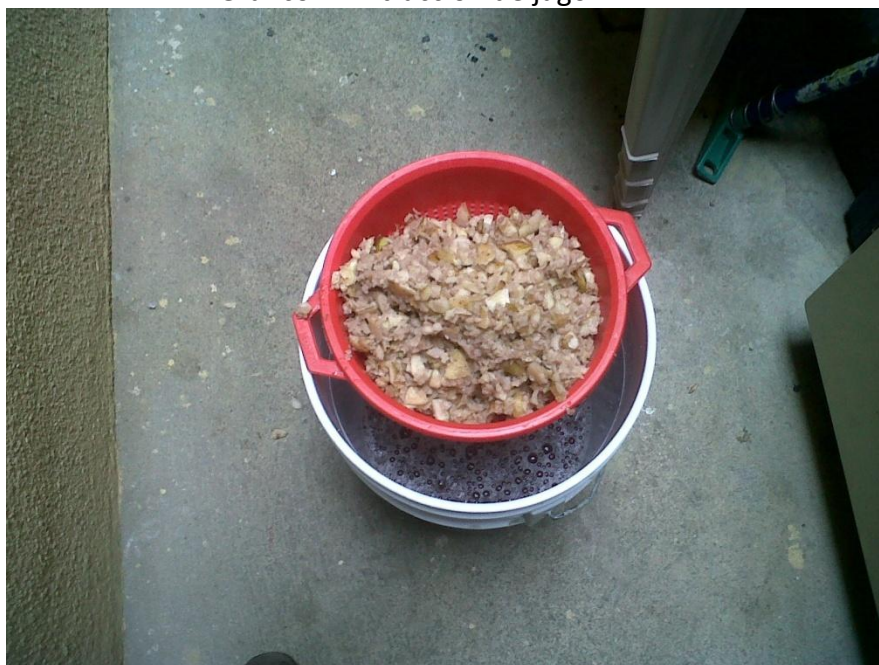


Gráfico 5. Jugo extraído.



Gráfico 6. Levadura preparada.



D. Equipo utilizado para la extracción del almidón y elaboración del polímero

Gráfico 7. Beaker para calentamiento.



Gráfico 8. DeseCADOR.



Gráfico 9. Horno secador



Gráfico 10. Estufa agitadora



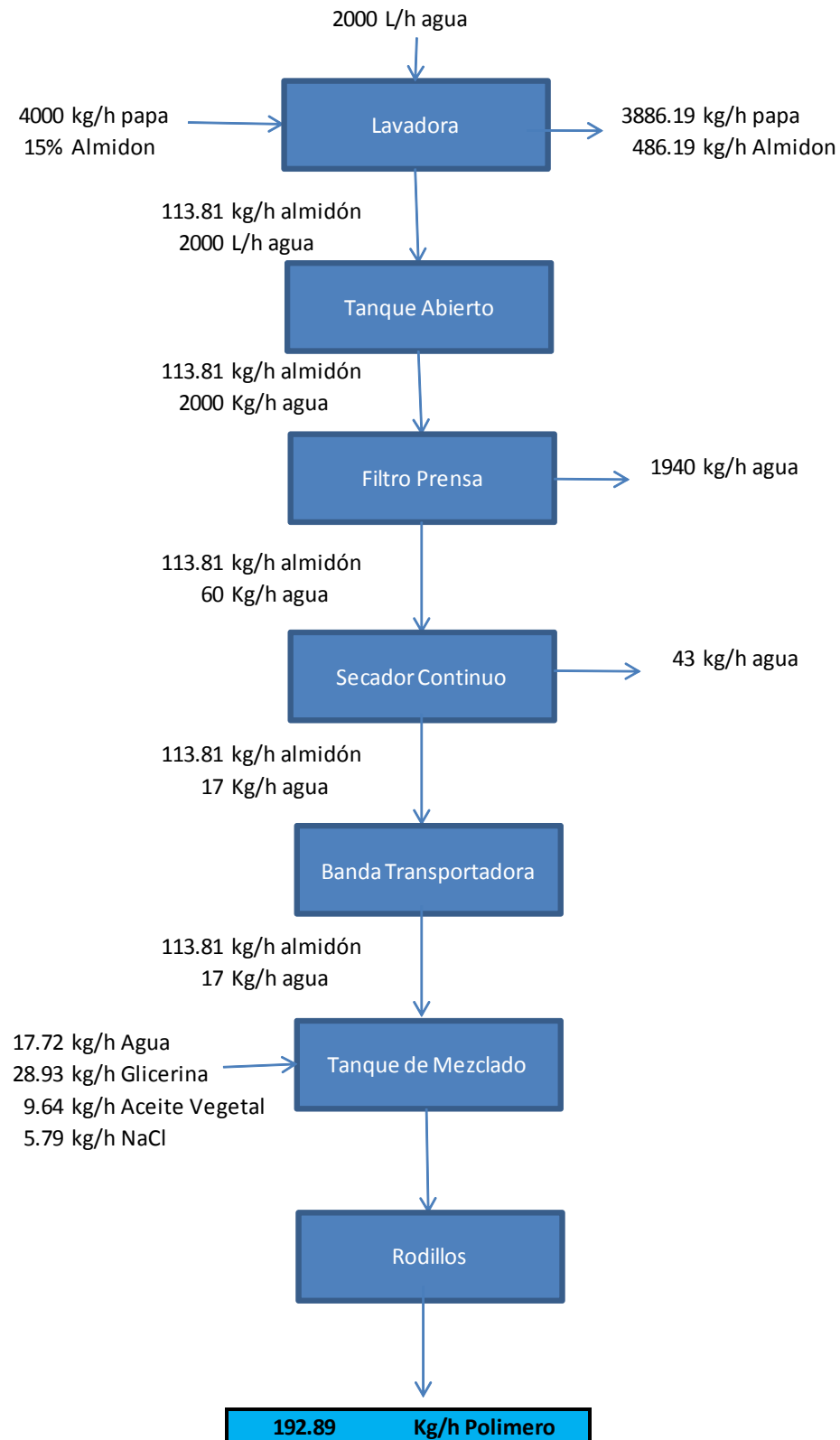
Gráfico 11. Balanza analítica



Gráfico 12. Probeta de 2L



Gráfico 13. Diagrama de bloques del proceso



E. Otros

Gráfico 14. Tabla 18.3 de los estándares de API (Storage Tanks, Underwriter or API Standard)

TABLE 18.3. Storage Tanks, Underwriter or API Standard, Selected Sizes

a. Small Horizontal Underwriter Label

Capacity Gallons	Dimensions			Weight in Pounds
	Diameter	Length	Thickness	
280	42"	4' – 0"	$\frac{3}{16}$ "	540
550	48"	6' – 0"	$\frac{3}{16}$ "	800
1000	48"	10' – 8"	$\frac{3}{16}$ "	1260
1000	64"	6' – 0"	$\frac{3}{16}$ "	1160
1500	64"	9' – 0"	$\frac{3}{16}$ "	1550
2000	64"	12' – 0"	$\frac{3}{16}$ "	1950
3000	64"	18' – 0"	$\frac{3}{16}$ "	2730
4000	64"	24' – 0"	$\frac{3}{16}$ "	3510

XIII. GLOSARIO

- **Biodegradable:** descomponerse en sus elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.
- **Composta:** es el producto que se obtiene del compostaje y constituye un “grado medio” de descomposición de la materia orgánica, que ya es en sí un buen abono.
- **Tubérculo:** tallo subterráneo modificado y engrosado donde se acumulan los nutrientes de reserva para la planta. Posee una yema central de forma plana y circular. No posee escamas ni cualquier otra capa de protección, tampoco emite hijuelos. La reproducción de este tipo de plantas se hace por semilla, aunque también se puede hacer por plantación del mismo tubérculo.
- **Refinado:** proceso de purificación de una sustancia química obtenida muchas veces a partir de un recurso natural.
- **Dermis:** membrana formada por una sola capa de células que cubre el tallo y las hojas de las pteridofitas y de las fanerógamas herbáceas.
- **Tasa Interna de Retorno:** herramienta o medida usada como indicador al cuantificar la eficiencia de una inversión determinada. Es la tasa compuesta de retorno anual que se puede ganar de una inversión.
- **Valor Presente Neto:** procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.