



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA  
COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA  
(Citrus Sinensis)”**

Realizado por:

**CYNTHIA ALMEIDA**

Director del Proyecto:

**MSc. Emma Ivonne Carrillo Paredes**

Como requisito para la obtención del título de:

**INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL**

Quito, 24 de julio de 2017



## DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, CYNTHIA LIZBETH ALMEIDA ECHEVERRÍA, con cédula #100335462-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



CC: 100335462-6

## **DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA  
COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA”**

Realizado por:

**CYNTHIA ALMEIDA ECHEVERRÍA**

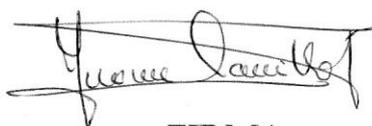
como Requisito para la Obtención del Título de:

**INGENIERO QUÍMICA INDUSTRIAL**

ha sido dirigido por la profesora

**EMMA IVONNE CARRILLO PAREDES**

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



**FIRMA**

**LOS PROFESORES INFORMANTES:**

Los profesores informantes:

**JOHANNA MEDRANO**

**WALBERTO GALLEGOS**

Después de rebosar el trabajo presentado, lo han calificado como apto para su  
defensa ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

## **DEDICATORIA**

A la soledad, que siempre me acompaña.

A mis padres, aunque no sea justo dedicarle solo unas páginas a quienes me han  
dedicado su vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A los vendedores ambulantes de jugo de naranja de la ciudad de Quito, por la donación de la materia prima principal y su participación de buen agrado en las entrevistas realizadas.

Al Arquitecto Jaime Villegas por su asesoría en el diseño de la planta y manejo de Autocad, y su ayuda con el presupuesto estimado de construcción.

A mi directora, Ivonne Carrillo, por ser el soporte fundamental de este proyecto y ayudarme a cada momento, por intensas horas de cálculos y revisiones, y por impulsarme siempre a avanzar tanto personal como profesionalmente. Por ser más que una profesora, una guía y una amiga.

A mis revisores, Walberto Gallegos y Johanna Medrano, por sus colaboraciones y comentarios, que me han ayudado a mejorar este proyecto hasta en los detalles más pequeños detalles.

A mi compañero de laboratorio y proyectos, Felipe López por acompañarme en jornadas de muchas horas de trabajo compartiendo experiencias

y sacándome risas en los días más agotadores, así como también por trabajar a mi lado en este y diferentes proyectos afines a este artículo, brindándome todo su apoyo y colaboración. Por ser siempre parte de este gran equipo.

A los grandes amigos y familiares que me han acompañado en este largo proceso, brindándome su apoyo y sus enseñanzas, dándome siempre una palabra de apoyo para continuar y alcanzar mis metas siempre. A quienes están cerca, a quienes están un poco lejos o del otro lado del mundo, y también a quienes ya no están. Porque este logro, no es solo mío, es de todos quienes de una u otra manera han estado ahí para mí. Este logro es nuestro.

DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

1 21/7/2017 0:41

2 Para someter a: *Rev. Food Science and Technology*

3 To be submitted: *Rev. Food Science and Technology*

4

5

6 **DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA**

7 **COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA (Citrus**

8 **Sinensis)**

9

10 Cynthia Almeida, Ivonne Carrillo\*

11

12 <sup>1</sup> Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales,

13 Quito, Ecuador. 21/07/2017 0:41

14

15

16 \*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: MSc. Ivonne Carrillo, Universidad

17 Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

18 Telefono: +593 99 917 5933; email: [emma.carrillo@uisek.edu.ec](mailto:emma.carrillo@uisek.edu.ec)

19

20

21

22

23 Título corto o Running title: Diseño de un proceso piloto de extracción de pectina a

24 partir de residuos de la naranja

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

25

26

27

**Resumen.**

28

29           Respondiendo a la necesidad de una gestión para los residuos sólidos orgánicos  
30 generados en la ciudad de Quito, el siguiente trabajo propone un proceso para convertir las  
31 cáscaras de naranjas que son generadas por los vendedores de jugo en la ciudad de Quito, en  
32 materia prima para la obtención de pectina cítrica y de esta forma, darle valor agregado. En  
33 Ecuador no existe una planta productora de pectina, lo que obliga a las industrias que utilizan  
34 este producto, a importarlo elevados costos de hasta 17 dólares el medio kilo. En la ciudad de  
35 Quito, según el censo realizado por la Policía Nacional en el 2016, existen aproximadamente  
36 600 vendedores ambulantes de jugo de naranja, quienes generan aproximadamente 16200 kg  
37 diarios de residuos lo que es igual a 5913 toneladas al año. El presente trabajo propone el diseño  
38 de una planta piloto para la obtención de pectina por hidrólisis ácida a partir de los residuos de  
39 la naranja, para esto, como primer paso, se realiza en el laboratorio la optimización del proceso,  
40 con el fin de determinar el ciclo óptimo de producción, esto servirá como base para la  
41 realización del diseño a escala piloto, basándose principalmente en la termodinámica y la  
42 cinética de las reacciones. Finalmente, se presenta un estudio económico para determinar su  
43 viabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito. Además de ciertas consideraciones sobre  
44 capacitaciones a los proveedores acerca de BPMs e Inocuidad Alimentaria

45

46           ***Palabras clave:*** pectinas, hidrólisis ácida, valor agregado, obtención, planta piloto,  
47 termodinámica, cinética.

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66

## Abstract

Responding to the need for a solid organic waste management in Quito city, due to the problems that it generates, the following work proposes a process to convert the oranges rests generated by the juice sellers in the city, into raw material to the obtaining of the citric pectin, and in this way give an added value to this waste. In Ecuador there isn't exist a pectin production plant, which forces this product importation, which has a high cost, up to \$17 each half kilogram. In Quito city, according to the census done by the National Police, there are about 600 orange juice street sellers, who generate approximately 16,200 kg of waste journals, and 5913 tons a year. The present work proposes a pilot plant design for obtaining pectin by acid hydrolysis from the orange rests, for which the previous processes in the laboratory were carried out to optimize the process, in order to determine the optimal cycle of production. This is going to help to carry it out into large scale and perform the pilot plant design based mainly in thermodynamics principles and kinetic reactions. Finally, an economic study is offered out to determine viability in the Metropolitan District of Quito. in addition to some considerations about BPMs and food safety to our suppliers.

**Key words:** pectin, acid hydrolysis, added value, obtained, pilot plant, kinetics.

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

67  
68

### Introducción.

69           Uno de los principales componentes de la pared celular de los vegetales son las pectinas,  
70 polisacáridos con alta capacidad hidrofílica, ya que pueden absorber agua desde 100 a 500 veces  
71 su propio peso (Flores, Mariños, Rodríguez, & Rodríguez, 2013). La pectina tiene gran utilidad  
72 en la industria alimenticia, principalmente como espesante y gelificante, por ejemplo se la  
73 utiliza mayoritariamente en la producción de mermeladas, jaleas, gelatinas y conservas  
74 vegetales. (Pagan & Gilabert, 1999).

75

76           Actualmente no existe producción de pectina en el Ecuador, la industria alimenticia y  
77 farmacéutica importa de países como Colombia, México, Argentina o China. Los valores que  
78 se llegan a pagar por este producto en estos países varían desde los 11 dólares hasta los 20 \$/kg.  
79 (Morley, 2015). Esta importación representa finalmente un precio elevado del producto, que  
80 irremediablemente se debe realizar, ya que la pectina es un producto de uso común en un  
81 extenso grupo de industrias.

82

83           A nivel industrial, la obtención de pectina se realiza a partir de subproductos como la  
84 cascara de frutos cítricos que contienen cerca del 25% de sustancias pécticas, el bagazo de la  
85 manzana, por ejemplo, genera un rendimiento de alrededor de 15-18% de pectina. En los años  
86 20 y 30 se inicia la industrialización de pectina a partir de residuos de manzana debido a la  
87 gran cantidad de residuos de la industria sidrera y de zumo de esta fruta.

88

89           Otras fuentes son la concha de mango, residuos de girasol, guayaba, entre otros.  
90 (Adossio, Paéz, Marín, Mármol, & Ferrer, 2005).

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

91 Las empresas que utilizaron la corteza de cítricos como materia prima, se toparon con  
92 el problema de que el aroma era inaceptable para la mayoría de aplicaciones, por lo que  
93 decidieron utilizar en sus procesos alcohol o sales metálicas, para precipitar la pectina y  
94 extraerla en forma sólida controlando así el problema. Posteriormente se adopta esta iniciativa  
95 por los productores de pectina de manzana, evolucionando gradualmente hasta el día de hoy  
96 con diferentes frutas como materia prima (Pagan & Gilabert, 1999).

97  
98 Comercialmente, la pectina se extrae con ácido caliente diluido a pH bajo. El tiempo y  
99 la temperatura de extracción varían con la materia prima utilizada. Una vez extraída la pectina,  
100 se separa de los residuos. Para obtener pectina en polvo, se agrega alcohol al concentrado para  
101 que precipite. La masa gelatinosa se prensa se lava y se elimina de las aguas madres.  
102 Posteriormente se filtra y se muele. Otros métodos de precipitación se realizan con hidróxido  
103 de aluminio coloidal, mayormente usado para pectinas de bajo grado de esterificación (Pagan  
104 & Gilabert, 1999).

105

### 106 *Residuos de naranja*

107 En las fábricas de zumo, de cada tonelada de naranja, el 50% se transforma en zumo y  
108 el 50% restante es subproducto o residuo (SINC, 2008). Actualmente se producen 38.2 millones  
109 de toneladas de cáscaras de cítricos a nivel mundial (Diario Milenio, 2017). Según el censo  
110 realizado en mayo del 2016 por la policía nacional, publicado por Diario El Comercio, en la  
111 ciudad de Quito existen 600 vendedores ambulantes de jugo de naranja (Jácome, 2016), quienes  
112 generan aproximadamente 16200 kg de residuos diarios, siendo equivalente a 5913 toneladas al  
113 año. Dichos residuos son recolectados por camiones de basura, para posteriormente ser  
114 desechados en los rellenos sanitarios del sector, ocupando gran espacio en los vertederos e  
115 incrementando el volumen de lixiviados debido a su rápida fermentación, lo que contribuye a

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

116 la generación de gas metano que es uno de los principales gases de efecto invernadero. Hay que  
117 considerar también que estos residuos no son aptos para hacer compostaje debido a sus  
118 características de pH ácido, por lo que los residuos se convierten en basura común sin opción  
119 de un proceso posterior que le otorgue un valor agregado.

120

### 121 *La pectina*

122 Las sustancias pécticas son mezclas complejas de polisacáridos que constituyen un  
123 tercio de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y de algunas monocotiledóneas. En  
124 menor cantidad, se hallan en las paredes celulares de las plantas herbáceas. Se encuentran en la  
125 mayor parte de los tejidos vegetales y especialmente en los tejidos parénquimáticos y  
126 meristemáticos, abundan en la pared primaria de las células y la lámina media que las separa.  
127 (Pagan & Gilabert, 1999). La estructura básica de la pectina está formada por anillos de ácido  
128 D-galacturónico,  $C_6H_{10}O_7$ . El número de anillos presentes en la cadena varía desde los 100  
129 hasta 1000. Cada anillo posee un grupo carboxilo (-COOH) que puede estar esterificado con  
130 metanol, produciendo esteres metílicos (-COOCH<sub>3</sub>) o quedar neutralizado por una base, como  
131 se muestra en la figura 1. (Zegada, 2015).

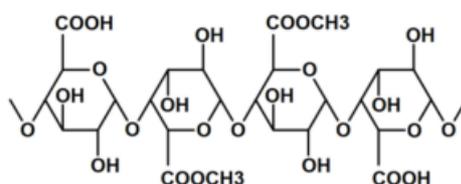
132

133 Figura 1: Estructura molecular básica de la pectina (Zegada, 2015)

134

135

136



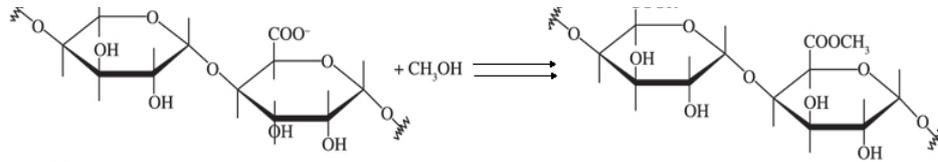
# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

137

Figura 2: Esterificación de la Pectina (Canteri, Moreno, Wosiacki, & Scheer, 2012)

138

139



140

141

142

143 El contenido de pectina en los tejidos vegetales varía en cada planta de acuerdo a su origen

144 botánico y anatómico, como se muestra en la siguiente tabla:

145

146

Tabla 1 Contenido en sustancias pécticas en vegetales y tejidos vegetales (Pagan & Gilabert, 1999)

147

Origen	Pectina (%)
Patata	2.5
Zanahoria	10.0
Tomate	3.0
Manzana	5.5
Residuos de Manzana	17.5
Girasol	25.0
Albedo de agrios	32.5
Fibra de Algodón	0.7
Pepitas de limón	6.0
Corteza de limón	32.0
Pulpa de limón	25.0
Melocotón	7.5

## DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

148 El grado de esterificación depende del origen de la pectina y del método utilizado para  
149 la extracción de la misma. Se entiende por grado de esterificación, el grado variable en el que  
150 los grupos carboxilos de los ácidos galacturónicos se encuentren esterificados con metanol o  
151 estén parcial o completamente neutralizados por iones de sodio, potasio o amonio (Flores et al.,  
152 2013).

153  
154 Mediante hidrólisis ácida, la pectina extraída de los residuos de naranja presenta  
155 aproximadamente un 70% de esterificación, aunque puede alcanzar valores mayores. Para  
156 obtener grados menores se debe hidrolizar con algunos esteres metílicos adicionales,  
157 generalmente, mediante extracción prolongada, tratamientos ácidos o alcalinos en alcohol o  
158 haciendo uso de enzimas desesterificantes (Zegada, 2015).

159  
160 El grado de esterificación, afecta directamente en la capacidad de la pectina para formar  
161 geles (Arellanes, Jaraba, Mármol, & Páez, 2011).

162  
163 Hay una amplia gama de grados de esterificación dependiendo de las especies, tejidos  
164 y madurez. Generalmente y por facilidad se dividen en dos grupos: pectinas de alto y bajo  
165 metoxilo. Las pectinas de alto metoxilo son aquellas que tiene el 50% de los grupos carboxilos  
166 del ácido galacturónico esterificado con metanol. A mayor grado de esterificación, mayor es la  
167 temperatura de gelificación. Estas pueden formar geles en condiciones de pH entre 2.8 y 3.5 y  
168 entre 60 y 70° Brix. Las pectinas de bajo metoxilo son aquellas que forman geles  
169 termorreversibles por interacción con el calcio presente en el medio. Las condiciones pH y  
170 solidos solubles son secundarios en este caso, para formar geles es solo necesaria la presencia  
171 de sales de calcio. Los grados Brix pueden llegar a 2 y el pH puede acercarse a neutralidad  
172 (Flores et al., 2013).

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

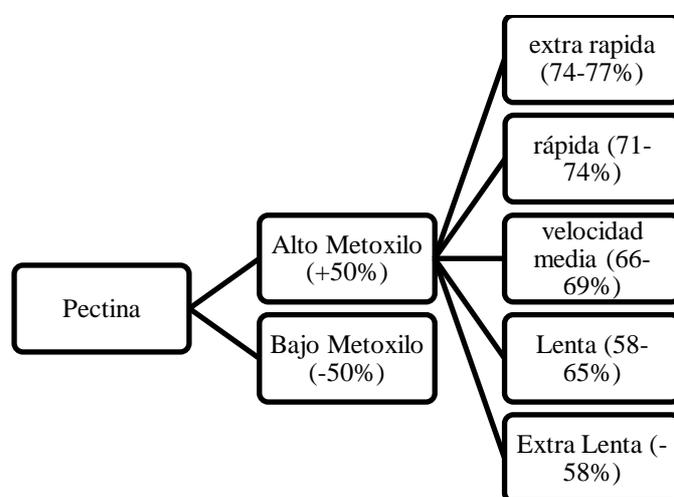
173

174 El grado de esterificación de las pectinas también influye en la temperatura de  
175 gelificación. A mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. Por  
176 ejemplo, una pectina con un grado de esterificación del 75% puede gelificar a temperaturas de  
177 95°, y en muy pocos minutos a temperaturas por debajo de 85°C (Morley, 2015).

178

Figura 3: Clasificación de la Pectina (Zegada, 2015)

179



180

181 Las propiedades gelificantes de la pectina pueden verse influenciadas por diferentes  
182 factores por ejemplo, el peso molecular, relacionado con la longitud de la cadena, afecta a la  
183 viscosidad y por ende a su comportamiento para formar geles (Flores et al., 2013). La molécula  
184 condiciona la rigidez o firmeza del gel. Otro factor que influye directamente en la velocidad y  
185 temperatura de gelificación es el grado de esterificación, que además es responsable de algunas  
186 propiedades organolépticas de geles de pectina-azúcar-ácido, que forman las pectinas de alto  
187 metoxilo. La solubilidad de la pectina se halla determinada por la proporción de grupos  
188 hidrofóbicos e hidrofílicos. (Pagan & Gilabert, 1999).

189

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

190 El tiempo de gelificación también dependerá de la naturaleza de la materia prima, del  
191 estado de maduración y de la metodología de extracción, definiendo así la calidad de la pectina  
192 (Adossio, Paéz, Marín, Mármol, & Ferrer, 2005)

193  
194 Los factores más importantes del medio, que influyen en la formación del gel son la  
195 temperatura, el pH, el nivel de azúcares y otros solutos e iones de calcio. Al enfriarse una  
196 solución caliente que contenga pectina, su tendencia a gelificar aumenta, más aún si su pH  
197 disminuye, esto ocurre especialmente en las pectinas de alto metoxilo, que requieren pH menor  
198 a 3,5 para gelificar. Los azucars y otros solutos, deshidratan a las pectinas en solución, por  
199 ende, a mayor cantidad de solutos, hay menos agua disponible para actuar como disolvente de  
200 la pectina y la tendencia a gelificar se favorece. Cuando los sólidos solubles superan el 85%, la  
201 gelificación es muy difícil de controlar. En cuanto a los iones de calcio, son necesarios en las  
202 pectinas de bajo metoxilo desesterificadas para una óptima gelificación (Pagan & Gilabert,  
203 1999).

### 204 *Aplicación de la pectina*

205 La pectina genera gran interés en las industrias alimentarias debido a su amplia  
206 utilización como aditivo gelificante en productos tipo gelatinas y mermeladas, así como  
207 también como espesante y estabilizante, material de relleno, estabilizador de productos de  
208 confitería, productos lácteos, preparados de futas y vegetales, rellenos de repostería, glaseado  
209 y escarchados, sustituto de grasas en aderezos para ensaladas, helados y productos cárnicos  
210 emulsionados (Arellanes et al., 2011).

211  
212 La pectina obtenida de la cascara de frutos, se puede utilizar también como empaque de  
213 capsulas, debido a su fácil degradación dentro del organismo (Aldana et al., 2011). Otras  
214 aplicaciones en la industria farmacéutica incluyen productos farmacéuticos y biomédicos por

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

215 su atractivo como un polímero no tóxico, biocompatible y biodegradable (Arellanes et al.,  
216 2011).

217

218 Dentro de sus variadas aplicaciones también está su uso en odontología, cosmética,  
219 industria de cigarrillos, microbiología, conservación de suelo, y alimentación animal (Pagan &  
220 Gilabert, 1999).

221

222 El objetivo de este artículo, diseñar un proceso piloto para la extracción de pectina a  
223 partir de los residuos de la naranja provenientes del proceso de extracción de jugo, que extraen  
224 como subproducto los vendedores ambulantes, con el fin de gestionar un impacto ambiental  
225 por la fermentación de desechos. Es importante mencionar en este punto, que los residuos que  
226 se usara en esta planta son de segunda generación, por lo que es importante realizar un  
227 tratamiento detallado de lavado e inactivados de enzimas, para que un residuo pueda ser apto  
228 posteriormente para el consumo humano.

229

230 Los resultados de este trabajo son una opción de generación de industria en la ciudad,  
231 para atraer inversiones tanto locales como extranjeras, considerando el gran mercado que tiene  
232 la pectina.

233

234 *Extracción de pectina de tejidos vegetales*

235

236 El método general para extracción de pectina a partir de frutas se basa en la transferencia  
237 de masa, variando un poco las condiciones de temperatura y acidez. A continuación, se  
238 describen los procesos utilizados para diferentes frutas.

239

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

### 240 **Cáscara de plátano (Cambur manzano):**

241

242           Para la extracción de pectina a partir de la cascara de plátano (Cambur Manzano) se  
243 lava la cascara y se tritura en una licuadora con agua (0,3 litros por cada 500 gramos de  
244 cáscara). Luego se cuele y se lava con agua destilada para posteriormente dejar secar al aire  
245 libre. Se toma 300 gramos de muestra y se le agrega agua hasta aforar a 1 litro. Se lleva a  
246 temperatura entre 95 y 98°C durante 15 minutos, con la finalidad de inactivar las enzimas.  
247 Luego se filtra y se lava hasta obtener 0°Brix. Se seca en una estufa a 60°C hasta obtener peso  
248 constante. Se envasa herméticamente para su posterior extracción (Arellanes et al., 2011).

249

250           Según el estudio Arellanes et al., (2011), el mayor rendimiento para la cascara de plátano  
251 se obtiene realizando la extracción con una solución de ácido cítrico a un pH de 2.0, utilizando  
252 50 gramos de cáscara seca con 1 litro de solución, y llevándolo a temperatura de 85°C durante  
253 60 minutos con agitación constante.

254

255           El proceso de filtrado se lo realiza a presión con un liencillo y el líquido obtenido de  
256 dicha filtración se enfría rápidamente a 25°C para evitar la degradación de la pectina. Se  
257 centrifuga durante 10 minutos a 3000 rpm. Para la precipitación se agrega propanol (70%  
258 volumen a precipitar), agitando lenta y uniformemente. Se deja reposar durante 30 minutos y  
259 se obtiene la pectina sobrenadante. Esta pectina se filtra con un liencillo y se lava varias veces  
260 con 2 volúmenes de 2-propanol al 50%, se extiende en capsulas de vidrio y se lleva a una estufa  
261 a 40°C hasta obtener peso constante. Se tritura y se pulveriza con molino hasta 425 µm.  
262 (Arellanes et al., 2011).

263

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

### 264 **Cáscara de limón:**

265  
266 En el estudio realizado por Flores, Mariños, Rodríguez, & Rodríguez, (2013), se utiliza  
267 la cáscara del limón francés realizando un proceso de inactivación de enzimas, para el cual se  
268 lleva a ebullición 300 gramos de cáscara en 1 litro de agua durante 5 minutos. Se corta en tiras  
269 de 3mm y se seca a 50°C por 24 horas. La hidrólisis se realiza a baño maría. El sustrato se lleva  
270 a cocción en ácido sulfúrico, clorhídrico o nítrico. Para esta extracción, se agrega al material  
271 sólido una cantidad de agua, igual a la utilizada inicialmente y se lleva hasta pH de 1.3 (donde  
272 se obtiene su máximo rendimiento) con la ayuda de uno de los ácidos anteriormente  
273 mencionados.

274  
275 Se lleva a una temperatura de 73°C durante 60 minutos con agitación constante. Se filtra  
276 con una tela y el proceso de precipitación se lleva a cabo agregando el 80% de etanol (95-96°)  
277 del volumen de la solución. El precipitado se filtra con una tela, para luego llevarlo a una estufa  
278 y secarlo hasta peso constante, y finalmente triturar (Flores et al., 2013)

279  
280 En un estudio realizado en la universidad de Zulia en Venezuela por Ferrer, (1996) se  
281 realiza la extracción de pectina a partir de la cáscara de limón injertado de la región Zuliana.  
282 La preparación de la corteza se inicia separando el albedo de la fruta, se pesa y se tritura. Se  
283 inactiva con agua hirviendo durante 10 minutos, se elimina el exceso de agua por filtración,  
284 posteriormente se realizan varios lavados y se prensa manualmente para secar a 60°C hasta  
285 lograr un peso constante, se tritura y envasa.

286  
287 El método de extracción se realiza agregando 3L de agua acidulada con HCl (pH: 2.5 y  
288 3) y llevando hasta 90°C y 95°C durante 60 y 90 minutos. Se deja reposar 30 minutos, se filtra  
289 y se exprime el residuo. El precipitado se lleva a cabo con 1.5 veces el volumen del filtrado de

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

290 2-propanol. El precipitado se filtra y se enfría para luego secar a 60°C hasta lograr peso  
291 constante (Ferrer, 1996).

292

### 293 **Cáscara de maracuyá (*Passiflora Edulis*):**

294

295 La preparación de la corteza se inicia con un lavado, posterior pesado y final triturado  
296 con una pequeña cantidad de agua en una licuadora. La corteza triturada se mezcla con 4 litros  
297 de agua destilada y se lleva a 95-98°C durante 15 minutos para inactivar las enzimas. Luego se  
298 lava hasta obtener 0°Brix, se prensa manualmente y se seca a 60°C hasta lograr un peso  
299 constante, una vez la cascara triturada se haya secado, se pulveriza y se envasa para su  
300 extracción (Adossio et al., 2005).

301

302 El mayor rendimiento para este caso se logra con una extracción con hexametafosfato  
303 de sodio,  $H_3PO_4(NaPO_3)_6$ . Se agrega agua acidulada con un pH de 3 a la cascara triturada en  
304 una relación de 1:16. Se Calienta a 90-95°C con agitación constante durante 90 minutos. Se  
305 filtra y se exprime manualmente. El líquido filtrado se enfría rápidamente y se centrifuga  
306 durante 10 minutos a 3000 rpm. Para la precipitación se agrega 1.5 veces el volumen de etanol  
307 95% y el precipitado se filtra con un liencillo. Se deja secar a 60°C hasta obtener un peso  
308 constante (Adossio et al., 2005).

309

310 Otro proceso de extracción se realiza con ácido cítrico al 1,2 % de concentración,  
311 llevando a 98°C durante 60 minutos. El secado se realiza a 60°C durante 60 minutos en una  
312 estufa con ventilación y una velocidad del aire de 0.5 m/s (Durán, Honores, & Cáceres, 2012).

313

314 El proceso descrito en el estudio realizado por Oliveira & Resende, (2012) se inicia por  
315 la obtención del albedo (parte blanca) de la cáscara de maracuyá y congelación de la misma a -

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

316 18°C, para descongelar se utiliza agua corriente. El albedo se tritura con agua destilada durante  
317 15 segundos, se filtra usando un filtro sintético y se seca a 50°C por 9 horas. El procesado de  
318 partículas finas se conoce como harina.

319

320 A la harina obtenida se le agrega agua des-ionizada (relación 1:50 w/v) tratando de  
321 lograr una suspensión homogénea y se calienta a 80°C mezclando constantemente. Se agrega  
322 50 ml de ácido cítrico 0.1 M previamente calentado a 80°C, se deja reaccionar por 40 minutos  
323 a 80°C y se interrumpe después de dicho tiempo sumergiendo en agua helada. Se retira el  
324 residuo por filtración lavando 2 veces con 100 ml de agua des-ionizada y se guarda el líquido  
325 filtrado durante toda la noche en el refrigerador. Se agrega alcohol etílico 92.8°GL lentamente,  
326 agitando de forma constante y se retira el material floculado por filtración, se puede sumergir  
327 en alcohol para remover trazas ácidas, se filtra y se seca a 45°C durante 8 horas (Oliveira &  
328 Resende, 2012).

### 329 **Cáscara de naranja:**

330 La cáscara de naranja es recolectada, lavada y secada al sol hasta retirar su humedad  
331 completamente. Se pulveriza y se tamiza. El proceso de extracción se realiza con HCl 2N, 25  
332 gramos de muestra de cáscara seca se cubren con agua y se agrega HCl hasta lograr un pH de  
333 3.2, se lleva a una temperatura de 80°C con agitación constante durante 75 minutos. Se filtra y  
334 el líquido filtrado se enfría a 15°C. Con NaOH 1N se cambia el pH a 12 y luego se incorporan  
335 30mL de etanol al 60%, se agita vigorosamente y se deja reposar durante 12 horas. El gel  
336 obtenido de la precipitación se filtra con una bomba de vacío y se lava con 15 ml de etanol 60%  
337 previamente enfriado a 15°C. Se seca en una estufa con ventilación a 90°C hasta la sequedad  
338 total y finalmente se tritura (Rodriguez & Román, 2004).

339

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

340 Zegada, (2015) propone una variante para la extracción de pectina, una extracción  
341 asistida por microondas. Se secan los residuos hasta lograr 10% de humedad, se trituran y se  
342 almacenan. Se toma 60 gramos de la cascara seca y triturada, se agrega agua y ácido cítrico  
343 hasta lograr un pH de 2.17 y 2.56 con proporciones de mL:g de 18:1 y 24:1, es decir, 18 ml de  
344 ácido cítrico diluido por cada gramo de materia prima, y tiempos en microondas de 7 y 15  
345 minutos respectivamente. La precipitación se realiza con etanol 96% siendo la solución a  
346 precipitar, es decir la pectina líquida, el 50-60% de la mezcla con el etanol precipitante, se agita  
347 durante 5 minutos y se deja reposar 20. Se filtra, seca y tritura.

348 Este proceso resulta más eficiente en cuanto a calidad, rendimiento y especialmente a  
349 tiempos de extracción, ya que estos disminuyen considerablemente (Aldana, Aguilar,  
350 Contreras, & Nevaréz, 2011). Es recomendable utilizar un horno microondas de baja potencia  
351 o de potencia variable, ya que se ha demostrado que a 1000W de potencia la pectina tiende a  
352 degradarse antes de los 5 minutos. A menor exposición, mejor es la calidad de la pectina  
353 (Zegada, 2015).

354 Notas Importantes: La cantidad de pectina es inversamente proporcional al tamaño de  
355 la fruta. Es decir, se encuentra mayor cantidad de pectina en los frutos más pequeños (Ywassaki  
356 & Canniatti-brazaca, 2011).

357 La pectina puede formar geles a pH entre 1 y 3.5, con concentraciones de azúcar del 55  
358 y 85% (Durán et al., 2012).

359 Las temperaturas de hidrólisis mayores a 98°C y el tiempo de extracción mayor a 90 minutos,  
360 logran de que la pectina se desnaturalice, terminando en una influencia negativa en el resultado  
361 final (Durán et al., 2012).

## DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

### 362 **Materiales y Métodos.**

363 La toma de muestras corresponde a la recolección de cáscaras de naranja, generadas por  
364 los vendedores ambulantes de la ciudad de Quito, las mismas que son un residuo del proceso  
365 de elaboración de jugo de naranja. En esta investigación no fue necesaria una gran cantidad de  
366 materia prima por lo que fue suficiente con uno o dos bultos de residuo durante toda la  
367 investigación. Las pruebas experimentales, se realizaron en los laboratorios de la Facultad de  
368 Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

369

370 Los materiales utilizados en el laboratorio fueron vasos de precipitación, varillas de  
371 agitación, capsulas de agitación, plancha de calentamiento, estufa, cedazo para filtrar, espátulas,  
372 cucharas, bandejas de vidrio resistentes al calor (pyrex), balanza, probetas, molino de tornillo,  
373 mortero, pistilo.

374

375 En las pruebas de laboratorio se utilizó un método de extracción por hidrólisis ácida  
376 (Rodríguez & Román, 2004), con ácido cítrico, a un pH de 2, se calienta a una temperatura  
377 entre 70-80°C, durante 75 minutos y posterior precipitación con alcohol. Finalmente, la pectina  
378 precipitada es secada y triturada.

379

380 El diseño de la planta se realizó utilizando software de diseño como Microsoft Visio,  
381 Aspen Hysis, y Autocad, así como también se realizó diseño de reactores por medio de  
382 integrales y derivadas.

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

383 Resultados.

384

385 El diseño del proceso de extracción de pectina a partir de residuos de naranja a nivel de  
386 laboratorio fue el siguiente:

387 a) Lavado y escaldado (inactivación de enzimas): El residuo de la naranja, tanto  
388 la cáscara como el bagazo es lavado con agua caliente, para posteriormente sumergirlas en  
389 agua a 100°C durante 10 minutos.

390 b) Trituración: Se tritura los residuos húmedos provenientes del paso a) con la  
391 ayuda de un triturador eléctrico.

392 c) Secado: Los residuos triturados se secan en una estufa a 80°C hasta obtener un  
393 peso constante.

394 d) Trituración: Se realiza una segunda trituración en triturador de tornillo para  
395 obtener partículas más finas. A partir de este momento se tratará a este triturado como materia  
396 prima.

397 e) Hidrólisis ácida: Se coloca 25 gramos de materia prima en un vaso de  
398 precipitación de 1000 ml con 2 veces su volumen de agua, y se lleva a un pH de 2 con la  
399 ayuda de ácido cítrico diluido en agua. Se calienta a una temperatura entre 70 y 80°C durante  
400 75 minutos con agitación constante.

401 f) Filtración: Se filtra la mezcla hidrolizada aún caliente aliente con un liencillo, y  
402 el líquido filtrado se enfría bruscamente hasta aproximadamente 15°.

403 g) Precipitación: Se adiciona 30 ml de etanol 70° GL previamente enfriado a 4°C,  
404 se agita vigorosamente y se deja reposar durante 24 horas. El líquido precipitado es la pectina  
405 extraída durante la hidrólisis ácida.

# DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

406 h) Filtración y lavado: Una vez la pectina haya precipitado se realiza una segunda  
407 filtración de la sustancia gelatinosa, utilizando un liencillo, realizando lavados con etanol  
408 usando hasta 2 veces su volumen.

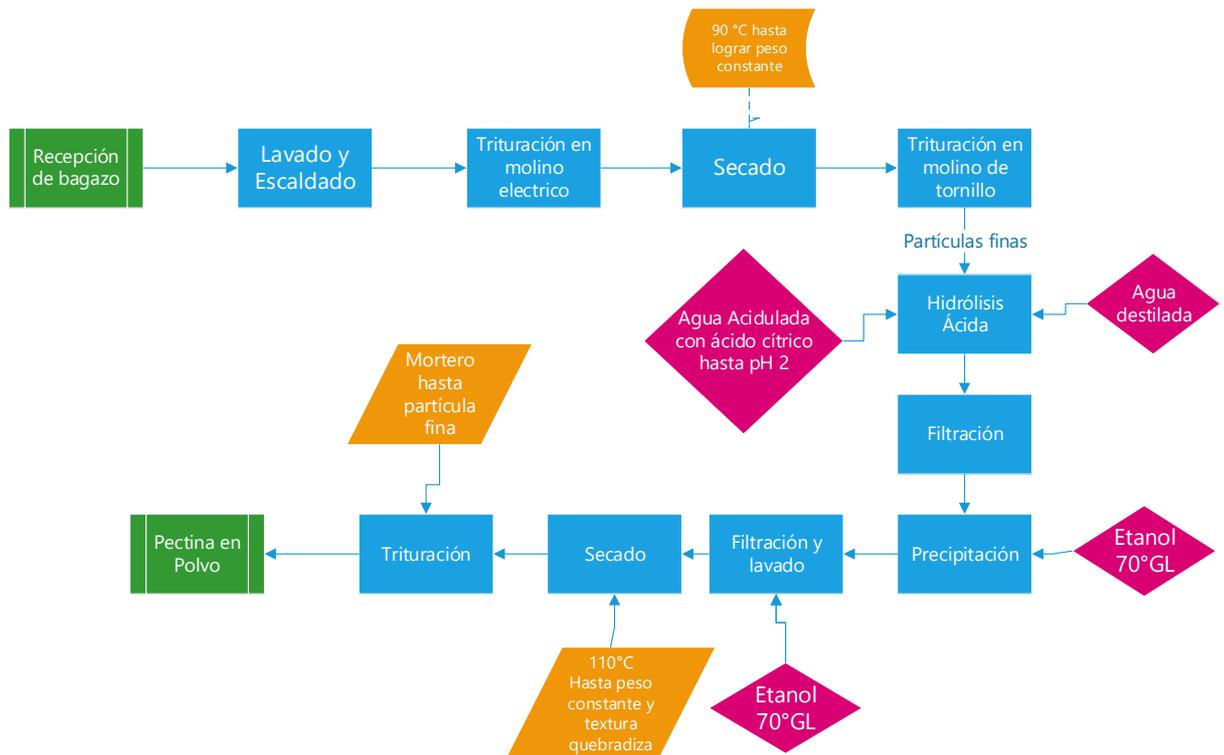
409 i) Secado: La torta de pectina retenida en el liencillo es extendida y distribuida en  
410 bandejas de cristal y posteriormente es secada en una estufa con circulación de aire a 90°C  
411 durante 18 horas, o hasta alcanzar un peso constante y textura firme y quebradiza apta para  
412 trituración.

413 j) Trituración: La pectina seca se remueve con cuidado de la bandeja de vidrio y se  
414 tritura en un mortero hasta obtener partículas lo más fino posible.

415

416

Figura 4 Proceso de Extracción de Pectina



417

418

419

420

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

421 El volumen de etanol 70° añadido en la precipitación para alcanzar el mayor porcentaje  
422 de eficiencia de extracción es 90ml para 20 gramos de materia seca, es decir 4,5 ml de alcohol  
423 por gramo de cascara seca y triturada.

424

425 Tabla 2. Pruebas de Laboratorio: Volumen de alcohol añadido en la precipitación

426

427 ml de etanol dosificados	Gramos de pectina obtenida	Rendimiento (%)
428 40	1.3	6.5
429 60	3.1	15.5
430 70	3.44	17.2
431 80	4.08	20.4
432 90	4,1	20.5

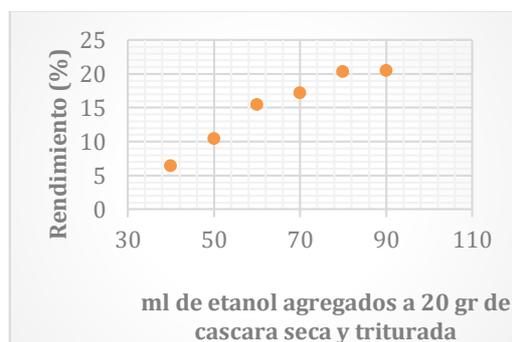
433

434

435

436 Figura 5 Figura 5 Rendimiento vs ml de etanol  
agregado por 20 gr de cáscara seca y triturada

437



441

442

443

444

445

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

446

447 La figura 6 muestra claramente que para 20 g de cáscara seca y triturada, la cantidad óptima de  
448 etanol es de 90 ml, sin embargo por razones de optimización de recursos, se considera el valor  
449 de 80 ml el más adecuado.

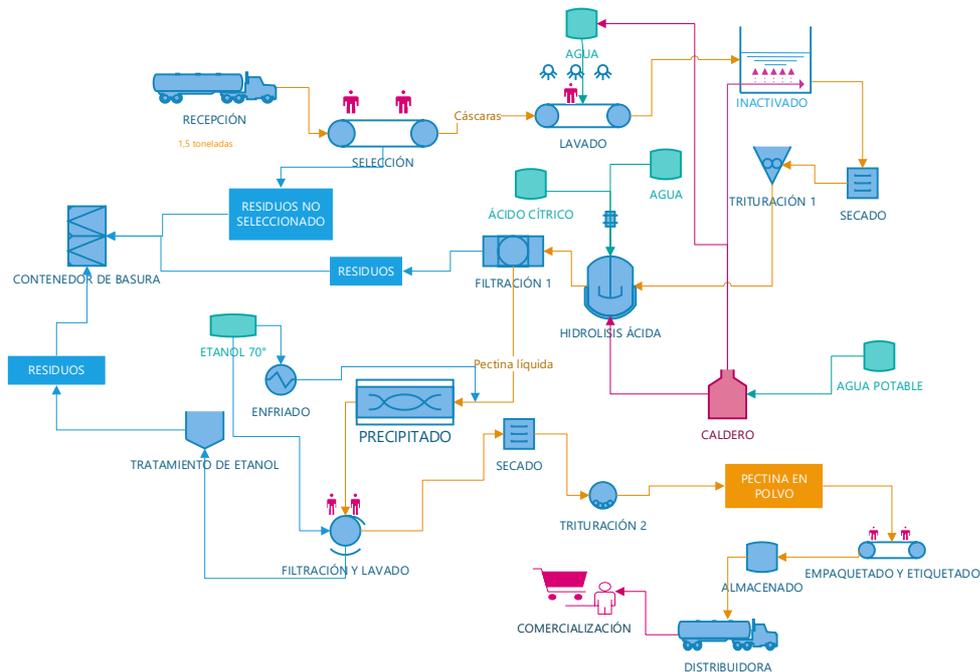
450 Una vez que se ha optimizado el proceso a nivel de laboratorio, se procede al diseño de  
451 la ingeniería básica y de los equipos necesarios para la implementación de la planta piloto para  
452 la producción de la pectina.

453 El diseño de la planta realizado en Microsoft Visio puede visualizarse de la siguiente  
454 manera:

455

456

Figura 6 Diagrama de flujo del proceso para la producción de pectina



457

458 La corriente principal se encuentra señalada de color naranja, mientras las líneas de  
459 vapor se representan de color fucsia. El caldero que se eligió para esta planta piloto ofrece una  
460 producción de vapor de 15 kg/hora, con lo que logra abastecer a todos los procesos donde el  
461 vapor sea necesario. El vapor sobrante se utilizará en otros servicios básicos de la empresa

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

462 como para lavado y desinfección de equipos y para calentar agua para las duchas para los  
463 operadores.

464 El flujo másico de la corriente principal se representa en la siguiente tabla:

465 Tabla 3 Flujos de entrada y salida de los diferentes procesos

	ENTRA		SALE	
	Kg	L	Kg	L
<b>lavado</b>	208,50	156,38	208,50	57963,00
<b>inactivado</b>	208,50	278,00	208,50	278,00
<b>secado</b>	208,50	278,00	72,98	28,46
<b>triturado</b>	72,98	28,46	72,98	28,46
<b>hidrólisis</b>	72,98	28,46	706,83	820,97
<b>filtrado</b>	706,83	820,97	376,16	364,88
<b>precipitado</b>	364,88	376,16	28,73	656,78
<b>lavado y filtrado</b>	28,73	656,78	28,73	656,78
<b>secado</b>	28,73	656,78	14,89	45,97
<b>triturado</b>	14,89	45,97	14,89	45,97

466

467 Los balances de masa pormenorizados de cada proceso se encuentran en el anexo B.

468

469 Tabla 4 parámetros fisicoquímicos en varias etapas

470

<b>Cáscara Húmeda</b>		<b>Acidificación</b>	
Densidad	0,34 g/ml	pH	2
pH	4,5	T	18°C
T	18°C		
<b>Pectina Líquida o ácido galacturónico</b>		<b>Pectina precipitada</b>	
pH	2,5	pH	3
Densidad	0,97 g/ml	Densidad	1,32 g/ml
viscosidad	25,4 cP	Viscosidad	7039,1cP
Color	3,6 unidades de cobalto		

480

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

481 El volumen de los reactores se diseña dependiendo de su utilización dentro del proceso, la  
482 base del diseño es la demanda del mercado y la disponibilidad de materia prima, valores  
483 que determinan el flujo de entrada y el tiempo de retención. El diseño se realizó bajo la  
484 normativa técnica INEN 0097:76 “Características y Diseños de máquinas, aparatos y  
485 equipos” e INEN 0440:84 “Colores de identificación de tuberías”. Los cálculos se muestran  
486 en el anexo 1, donde se puede encontrar a detalle el tipo de cada uno y los pasos utilizados  
487 para la realización de estos, el resumen se puede ver en la tabla siguiente:

488  
489 Tabla 5 Volúmenes de Reactores

490

491 Reactor	491 Volumen
492 Marmita para inactivación	0,02 m <sup>3</sup>
493 CSTR para hidrólisis ácida	0.88 m <sup>3</sup>
494 PFR para precipitación	4,16m <sup>3</sup>

# DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

495

Anexo A

496

## CALCULO DE VOLUMENES DE REACTORES

497

### A-1: DISEÑO DE REACTOR BACTH PARA INACTIVACIÓN

498

499

Como se muestra en el balance de masa, se tienen 35 kg de cascara húmeda que

500

entrará al proceso de inactivación. Este proceso consiste en sumergir los residuos en agua en

501

punto de ebullición. Este proceso tarda 15 minutos, por lo que la entrada real será de 9 kg por

502

batch. Los datos que se disponen son los siguientes:

503

Tabla 6 Datos de balance de masa para el proceso de inactivación o escaldado

<b>Cáscara</b>	<b>masa</b>	9	kg	
	<b>cp</b>	2,5	Kjoul/kg°C	
	<b>T1</b>	18°C	<b>T2</b>	80°C
<b>Agua</b>	<b>cp</b>	4,18	Kjoul/kg°C	
	<b>T1</b>	100°C	<b>T2</b>	80°C

504

505

Para calcular la masa de agua necesaria, se utilizó la siguiente ecuación

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad (\text{ec 1})$$

506

$$Q_{casc} = Q_{agua}$$

507

$$m_{casc} cp_{casc} \Delta T_{casc} = m_{agua} cp_{agua} \Delta T_{agua}$$

508

Dándonos como resultado una masa de agua de 16kg/batch, y el Q del proceso será

509

1346,56 Kjoul.

510

Inicialmente necesitaremos subir la temperatura del agua desde 18°C hasta 100°C, por

511

lo que se calculó la cantidad de vapor necesaria para realizar dicho calentamiento, como se ve

512

a continuación, obteniendo un Q de 5520,91 Kjoul.

## DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

513 Para calcular la masa del vapor necesario para realizar el calentamiento inicial del agua se  
514 utiliza la siguiente ecuación, que toma en cuenta al cambio de fase del vapor:

$$Q = mcp\Delta T + m\lambda \quad (\text{ec 2})$$

515 Los datos utilizados en este caso, serán el Q anteriormente calculado, para este  
516 calentamiento considerando el 5% de pérdidas por conducción directa entre agua fría y vapor,  
517 la temperatura inicial del vapor de 184°C. Los valores de  $c_p$  y  $\lambda$  son 0,5 cal/g°C y 540 cal/g  
518 respectivamente. El valor calculado de masa de vapor fue 138 g/batch, es decir 0,55 kg/h

519 Como en este caso se trata de un reactor batch sin reacción, se realiza el cálculo del  
520 volumen del reactor batch, sumando el volumen de las dos entradas (agua, vapor y cáscara),  
521 que con sus respectivas densidades: 7,8 y 16 litros de la cascara y del agua, respectivamente.  
522 Dando así un volumen total de 23 L, es decir 0,023 m<sup>3</sup>, adicionalmente se asume 8% de  
523 sobredimensionamiento, por lo que el volumen final del reactor será de 0,025 m<sup>3</sup>. Considerando  
524 una altura de 0,25m, se genera un diámetro del reactor de 36 cm. Se utilizará para la  
525 construcción del reactor acero inoxidable 316 grado alimenticio de un espesor de 1cm, por lo  
526 tanto, el peso del reactor será de 30,46 kg.

527

## DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

### 528 A-2: DISEÑO DE REACTOR CSTR PARA HIDRÓLISIS

529  
530 Para el proceso de hidrólisis se usara un reactor CSTR (reactor de mezcla continua)  
531 encaquetado, con tiempo de retención de una hora de acuerdo a los cálculos de balance de  
532 masa. Las entradas serán de materia prima (cáscara seca triturada), ácido cítrico diluido 0,6 M,  
533 y agua. Los datos disponibles de materia prima son los siguientes:

534

535 Tabla 7 Balance de masa en el reactor CSTR de hidrólisis

<b>cáscara</b>	<b>masa</b>	72,98		Kg
	<b>cP</b>	2,5		Kjoul/kg°C
	<b>T1</b>	25°C	<b>T2</b>	80°C
<b>agua</b>	<b>masa</b>	542,63		Kg
	<b>cP</b>	4,18		Kjoul/kg°C
	<b>T1</b>	25°C	<b>T2</b>	80°C
<b>ácido cítrico 0,6M</b>	<b>masa</b>	91,22		Kg
	<b>cP</b>	3,34		Kjoul/kg°C
	<b>T1</b>	25°C	<b>T2</b>	80°C

536

537 A continuación, se calculó el calor (Q) de cada uno de las corrientes de entrada, usando  
538 la ecuación 1 para cada caso. Los valores obtenidos fueron, para la cáscara: 10034,06 Kjoul,  
539 124751,7 Kjoul para el agua, y 16756,88 Kjoul para el ácido. Dádo un calor Q total de materia  
540 prima de 159119,78 Kjoul, considerando un 5% de pérdidas por convección.

541 Al igual que en el diseño del reactor batch, para calcular el volumen se deben sumar los  
542 volúmenes de entrada en una hora, realizando su respectiva transformación con la ayuda de las  
543 densidades. El volumen total en este caso, tomando en cuenta el 8% de sobredimensionamiento  
544 es de 0,88m<sup>3</sup>. Se considera para este caso una altura de 1,3 metros, por lo que el diámetro  
545 calculado para este reactor será de 0,93m.

## DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

546 Este es un reactor con enchaquetado, por lo que el vapor que rodea el tanque principal  
547 deberá vencer también la temperatura de dicho tanque para poder calentar el contenido del  
548 mismo. El enchaquetado externo se propone hasta una altura de 1m. Las paredes del tanque  
549 tendrán un espesor de 1cm, por lo que la masa de esa sección del tanque será de 283 kg. El cp  
550 del material a utilizar, será el mismo que del reactor batch (500 kJ/kg), ya que se usará el  
551 mismo material para toda la planta. Con esos datos se calcula el Q (calor) del material, usando  
552 la ecuación 1, obteniendo un valor de 8181865,54 KJoul, una vez se haya considerado el % de  
553 pérdidas por conducción.

554 Una vez calculado todos los valores de Q, se procede a calcular la masa de vapor  
555 necesaria. Los valores del vapor serán los mismos que en el diseño anterior. Esto, debido a que  
556 se comprará un solo caldero que proporcione vapor a todos los procesos.

557 El vapor alcanzará una temperatura final de 100°C, por lo que se usará la ecuación 2.  
558 Para esto, el valor de  $\lambda$  será 540 cal/g, debido a que habrá condensación. Despejando la masa  
559 de la ecuación mencionada, encontramos que se necesitan 3,98 kg de vapor/hora.

560 El volumen de esa cantidad de vapor será 0.019m<sup>3</sup> debido al volumen específico del  
561 vapor a esa temperatura. El diámetro del enchaquetado entonces, será de 0,98m en total  
562 adicionando, ya el sobredimensionamiento del 8%.

563

## DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

### 564 A-3: DISEÑO DEL REACTOR PFR (REACTOR FLUJO PISTÓN) PARA LA 565 ESTERIFICACIÓN

566

567 Al reactor PFR, de acuerdo con el balance de masa, entran 364,88 L de pectina líquida  
568 o ácido galacturónico y 291,9 L de etanol. Siendo el volumen total 656,78 L.

569 La densidad de la pectina líquida es de 1,03 g/cm<sup>3</sup>, y el peso molecular es 194 g/mol.  
570 Con estos datos el flujo molecular FAo es de 1927,82 mol/hora. El número de moles será el  
571 mismo debido a que el tiempo es la unidad.

572 Para calcular la velocidad de entrada se divide el flujo molar de la pectina líquida,  
573 FAo, para el volumen total de entrada. Así, se obtuvo una velocidad  $v$  de 656,78 L/hora.

574 Las fórmulas utilizadas en este diseño fueron las siguientes:

$$V = FAo \int_0^x \frac{dx}{-rA} \quad (\text{Ec.3})$$

$$-rA = KCAo(1 - x) \quad (\text{Ec.4})$$

Sustituyendo,

$$V = FAo \int_0^x \frac{dx}{KCAo(1 - x)}$$

Despejando,

$$V = \frac{FAo}{KCAo} \int_0^x \frac{dx}{1 - x}$$

Integrando,

$$V = \frac{v}{K} \ln\left(\frac{1}{1 - x}\right)$$

575 El valor de la constante  $k$ , es de  $4,99 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ , (Pagan & Gilabert, 1999). o lo que es  
576 lo mismo:  $0,299 \text{ h}^{-1}$ . A continuación se procede a hacer una iteración variando el

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

577 volumen y el porcentaje de conversión  $x$ , para definir que, volumen y conversión son  
578 las más convenientes.

579

580

Tabla 8 Volúmenes y % de conversión en PFR

x	V	
%	L	m <sup>3</sup>
0,95	6571,55	6,57
0,9	5051,04	5,05
<b>0,85</b>	<b>4161,59</b>	<b>4,16</b>
0,8	3530,52	3,53
0,75	3041,03	3,04
0,7	2641,08	2,64
0,65	2302,93	2,30
0,6	2010,01	2,01

581

582 Para este reactor PFR se tomó la conversión de 85%, ya que el volumen obtenido con  
583 ese valor no está fuera de las medidas convencionales. La longitud del reactor diseñado será  
584 de 2,40 metros, por lo que el diámetro o la altura del mismo serán de 1,54m.

585 El enchaquetado de este reactor se planteó de 25 cm adicionales al radio, por lo que el  
586 volumen del enchaquetado será de 3,39 m<sup>3</sup>.

587 Como este proceso necesita enfriamiento, el enchaquetado será por una capa de agua  
588 fría. El líquido a utilizar estará formado por 70% agua, que será enfriada por hielo. El agua de  
589 enfriamiento debe estar a temperatura de 5°C. El agua a usarse en este proceso será agua  
590 potable a 18°C. El hielo entrará a una temperatura de -15°C. Adicionalmente se sabe que los  
591 valores de  $C_p$  del agua y del hielo son 4,18 y 2,09 Kjoule/kg°C respectivamente, y el calor  
592 latente,  $\lambda$ , del hielo es de 334 kJ/kg.

593 Así, con estos datos, se usa la ecuación 2 para calcular la masa de hielo necesaria para  
594 enfriar el agua. El valor obtenido fue de 340,08 kg.

595

DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

596

Anexo B

597

BALANCE DETALLADO DE CADA PROCESO

598

Todos los balances se realizaron en base 1 hora.

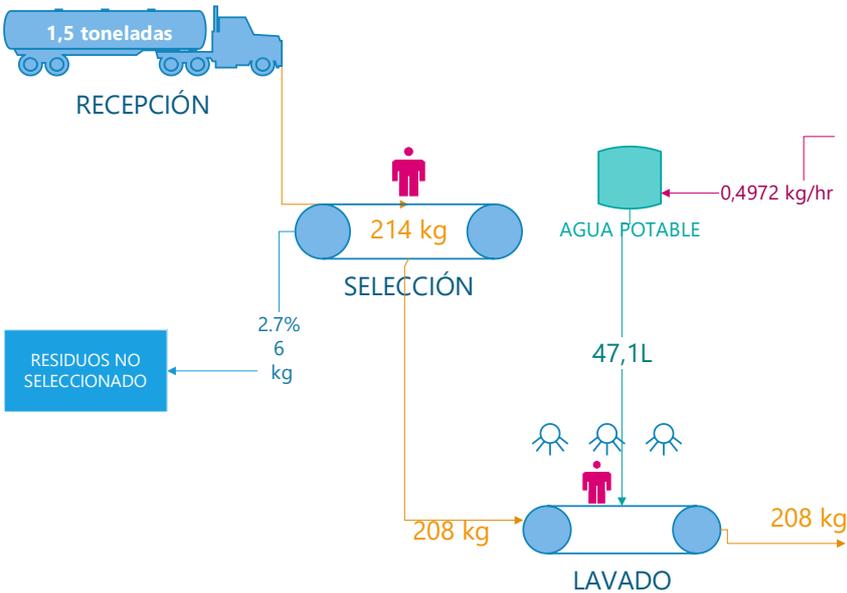
599

B-1: RECEPCIÓN, SELECCIÓN Y LAVADO

600

601

Figura 7 Balance de masa: Selección y lavado



602

603

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

604

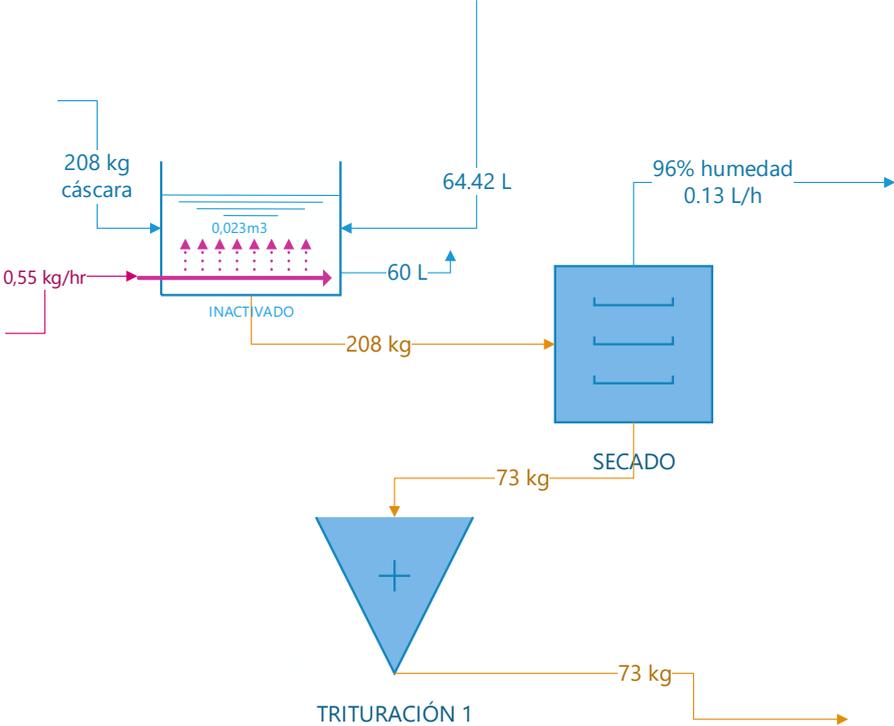
B-2: INACTIVADO, SECADO Y TRITURADO

605

606

607

Figura 8 Balance de masa: inactivado, secado y triturado



608

609

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

610

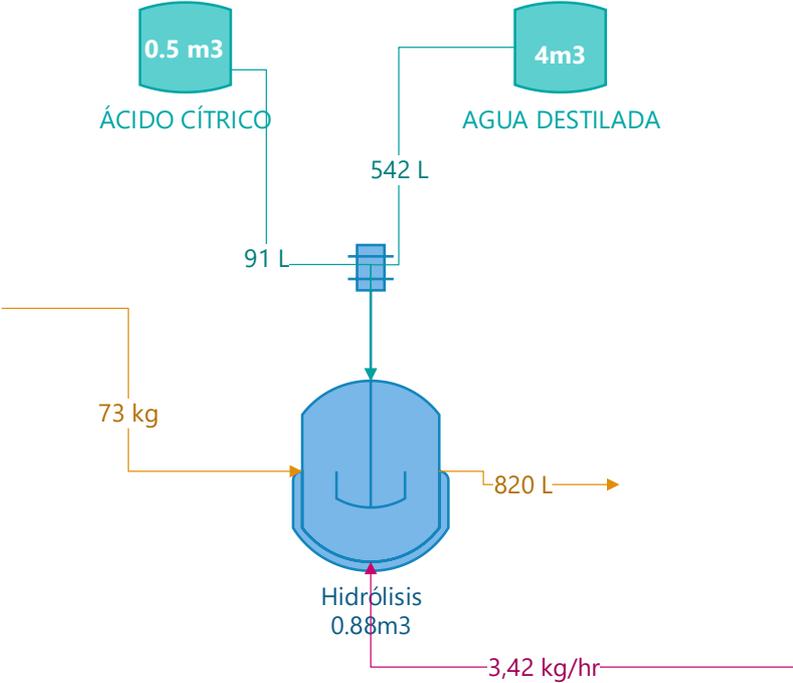
B-3: HIDRÓLISIS

611

612

Figura 9 Balance de masa hidrólisis

613



614

615

616

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

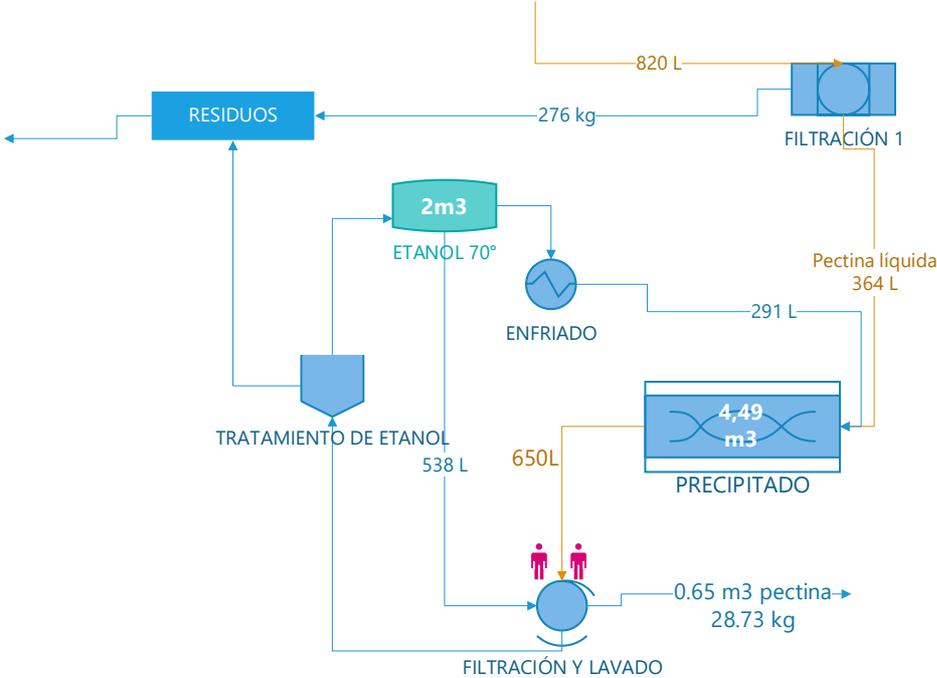
617

B-4: FILTRACIONES, PRECIPITADO Y LAVADO

618

619

Figura 10 Balance de masa: filtraciones, precipitado y lavado



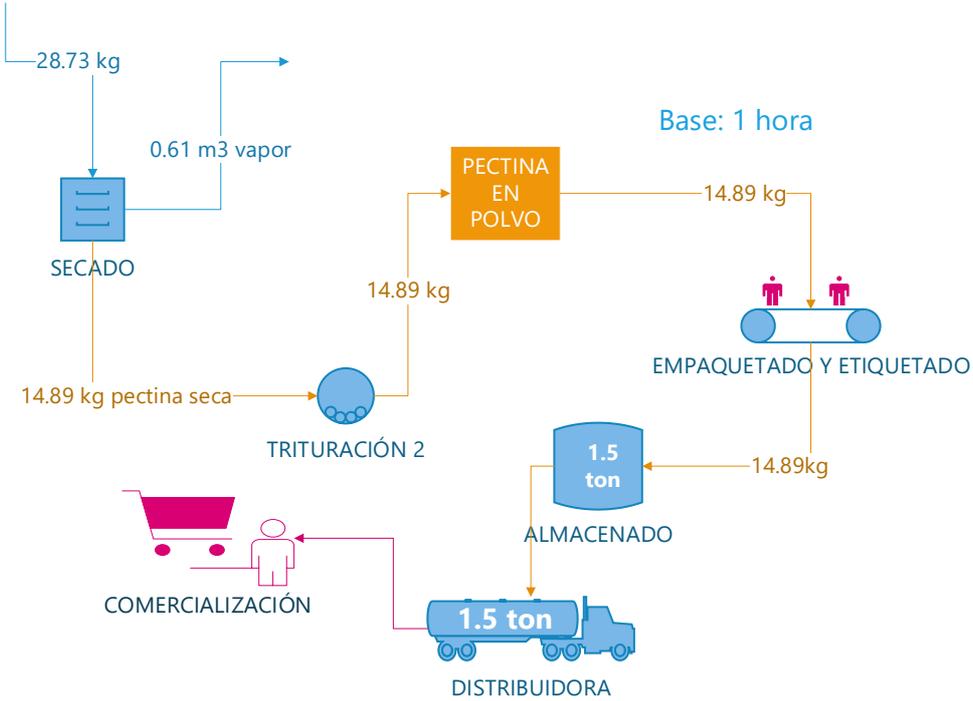
620

621

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

622  
623 B-5: SECADO, TRITURADO, EMPAQUETADO, ALMACENAMIENTO Y  
624 DISTRIBUCIÓN

625  
626  
627 Figura 11 Balance de masa: secado, triturado, empaquetado, almacenamiento, y distribución



628  
629

630

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

## ANEXO C

### ANALISIS ECONOMICO

631  
632  
633 Debido a las propiedades físicas y organolépticas del producto mercado objetivo serán  
634 los productores artesanales, donde el color no sea una especificación estricta. La demanda  
635 nacional del Ecuador hasta el 2016 fue de 53,12 toneladas en ese año. Por lo que al cubrir el  
636 60% de esa demanda (32 ton/año) se estarían cumpliendo con nuestro mercado objetivo.  
637 Para este análisis económico, se realizará un préstamo al 12% de interés para cubrir el precio  
638 de los equipos y de la instalación de la planta.

639

640 Acorde al balance de masa y el diseño de reactores, se investigó a diferentes  
641 proveedores y constructores, obteniendo:

642

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Precio USD</b>
643	1 camión	\$ 17.500,00
	1 balanza	\$ 550,00
644	1 banda transportadora	\$ 760,00
	1 lavadora banda y aspersores	\$ 760,00
645	1 marmita inactivación	\$ 3.800,00
	1 secadora	\$ 6.000,00
646	1 molino eléctrico	\$ 780,00
	1 tanque de almacenamiento	\$ 200,00
647	1 marmita por hidrólisis ácida	\$ 3.800,00
	1 filtro prensa	\$ 1.000,00
648	1 enfriador industrial	\$ 3.345,00
	1 tanque de almacenamiento para etanol	\$ 500,00
649	1 reactor pfr precipitado	\$ 7.000,00
	1 filtrado y lavado	\$ 1.500,00
650	1 secadora	\$ 3.000,00
	1 molino de tornillo	\$ 500,00
651	1 dosificadora y selladora	\$ 5.000,00
	1 filtro purificador de alcohol	\$ 1.000,00
652	1 calderín	\$ 1.200,00
653	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 58.195,00</b>

654

655

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

656 Se trabajarán 330 días al año y los costos anuales serían los siguientes:

657

658

<b>materia prima</b>	<b>kg/día</b>	<b>kg/año</b>	<b>\$/kg</b>	<b>\$total/año</b>
659 cáscara de naranja	1500	495000	0	\$ -
660 agua de lavado	291,9	96327	0,00071	\$ 68,39
661 agua de procesos	20375	6723591,98	0,00071	\$ 4.773,75
662 agua de caldero	105	34650	0,00071	\$ 24,60
663 Hielo	2380,57	785587,27	0	\$ -
664 ácido cítrico	8,85	2919,18	1,65	\$ 4.816,65
665 etanol 70°	2371,10	782464,22	0,5	\$ 391.232,11
666 empaques impresos	208,42	68777,48	2,00E-02	\$ 1.375,55
				<b>\$ 402.291,05</b>

664

<b>costos de operación</b>	<b>kW/h/día</b>	<b>kW/h/año</b>	<b>\$/kW/h</b>	<b>\$/año</b>
665 energía eléctrica	580,6992727	191630,76	0,091	\$ 17.438,40

666

667

668 <b>número de operadores</b>	10
669 <b>días trabajo al año</b>	330
670 <b>sueldo diario</b>	\$ 18,75
671 <b>sueldo anual c/operador</b>	\$ 6187,5
672 <b>sueldo total de operadores</b>	<b>\$ 61875</b>

671

672

<b>servicios básicos</b>	
673 agua potable industrial	0,71 \$/m <sup>3</sup>
674 energía eléctrica	0,091 \$/kw

674

675 <b>Producción</b>	2,7 toneladas mensuales
676 <b>costo de equipos</b>	\$58.195,00
677 <b>factor de instalación 6%</b>	\$58.544,17
678 <b>terreno</b>	\$80.000
679 <b>infraestructura</b>	\$30.000
<b>costo de planta</b>	\$168.544,17
<b>mas 10% costos adicionales</b>	<b>\$185.398,59</b>

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

680 El proyecto necesita un área de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>, que en un sector industrial se  
 681 puede conseguir a un costo promedio de \$80,000. Los costos de infraestructura, pueden  
 682 alcanzar un valor promedio de \$30,000. Además se considera un 10% adicional al costo final  
 683 de la planta destinado a costos de licencias ambientales otorgados por el SUIA (sistema único  
 684 de información ambiental), costos de patente, registro sanitario, y para un plan de manejo  
 685 ambiental una vez que la planta se encuentre en funcionamiento. También para evaluación de  
 686 impacto ambiental anuales, e impuestos de funcionamiento para el ministerio de industrias, así  
 687 como también para el ministerio de salud.

688 El número de periodos proyectados fue de 5 años. Y la tasa de descuento utilizada fue  
 689 el 20%.

años	0	1	2	3	4	5
<b>inversión \$</b>	-185398,59					
<b>intereses \$</b>		-6363,10	-5240,60	-3975,74	-2550,47	-944,43
<b>materia prima \$</b>		-402291,05	-402291,05	-402291,05	-402291,05	-402291,05
<b>mano de obra \$</b>		-61875,00	-61875,00	-61875,00	-61875,00	-61875,00
<b>costo de operación \$</b>		-17438,40	-17438,40	-17438,40	-17438,40	-17438,40
<b>Ingresos \$</b>		548038,95	548038,95	548038,95	548038,95	548038,95
<b>flujo de caja \$</b>	-185398,59	60071,40	61193,90	62458,76	63884,04	65490,07
<b>flujo de caja descontado \$</b>	-185398,59	50059,50	42495,77	36145,12	30808,27	26318,99
<b>VAN</b>		429,07				

690

691 Con este análisis económico, se observa que el mínimo precio a ofrecer la pectina es de  
 692 \$16,85/kg, el precio al que los artesanos consiguen la pectina en el Ecuador para sus procesos  
 693 es de aproximadamente \$17 los 500 gramos, es decir \$34/kg por lo que la implementación de  
 694 esta planta les resulta muy conveniente a las industrias tipo artesanales que usan este producto  
 695 como uno de sus insumos.

696

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

697

ANEXO D

698

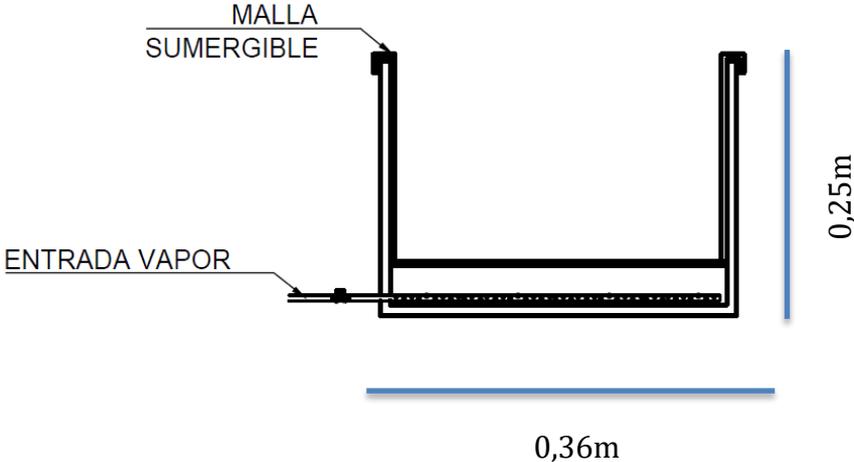
DISEÑO DE PLANTA Y REACTORES PRINCIPALES EN AUTOCAD

699

D-1: DISEÑO DE MARMITA DE INACTIVACIÓN

700

701



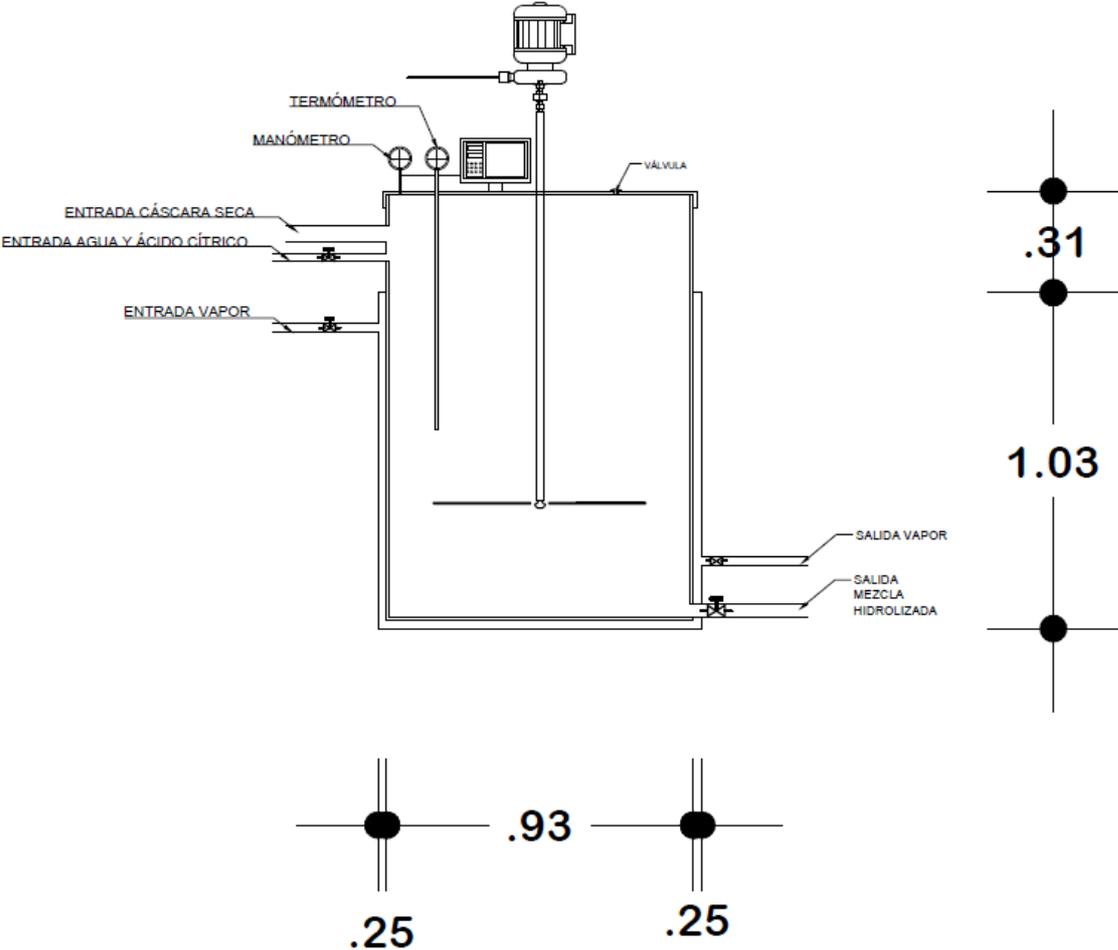
702

703

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

704

D-2: DISEÑO DE REACTOR CSTR PARA HIDRÓLISIS ÁCIDA



705

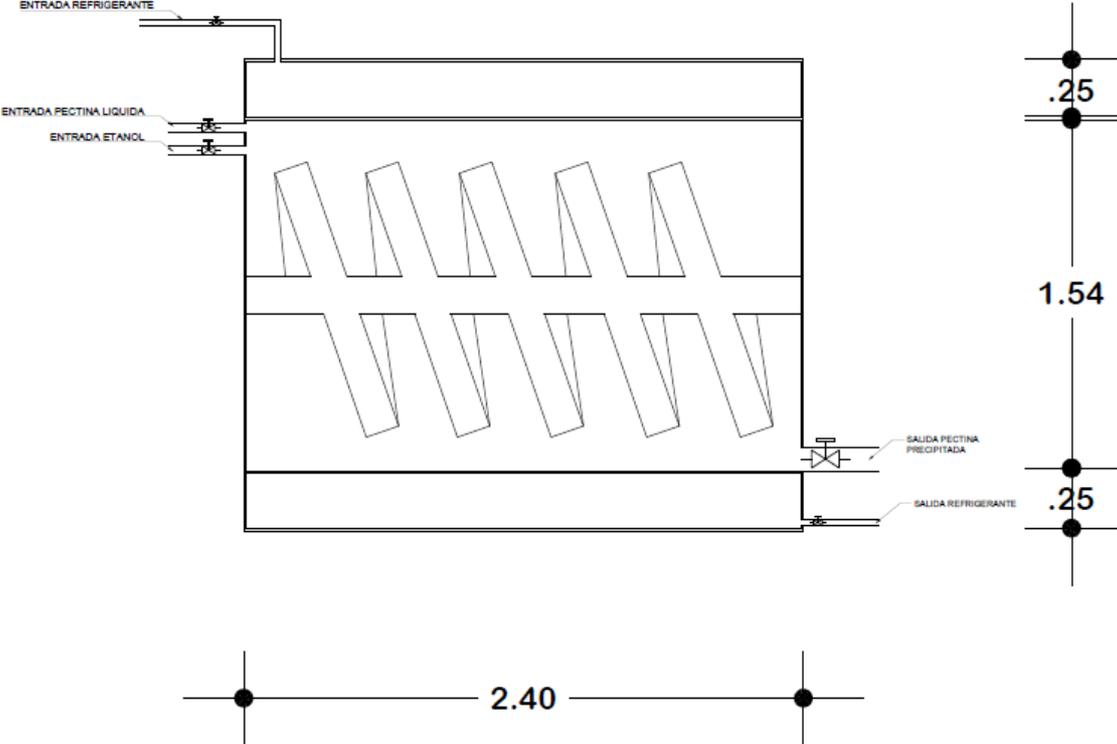
706

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

707

D-3: DISEÑO DE REACTOR PFR PARA PRECIPITACIÓN

708



709

710

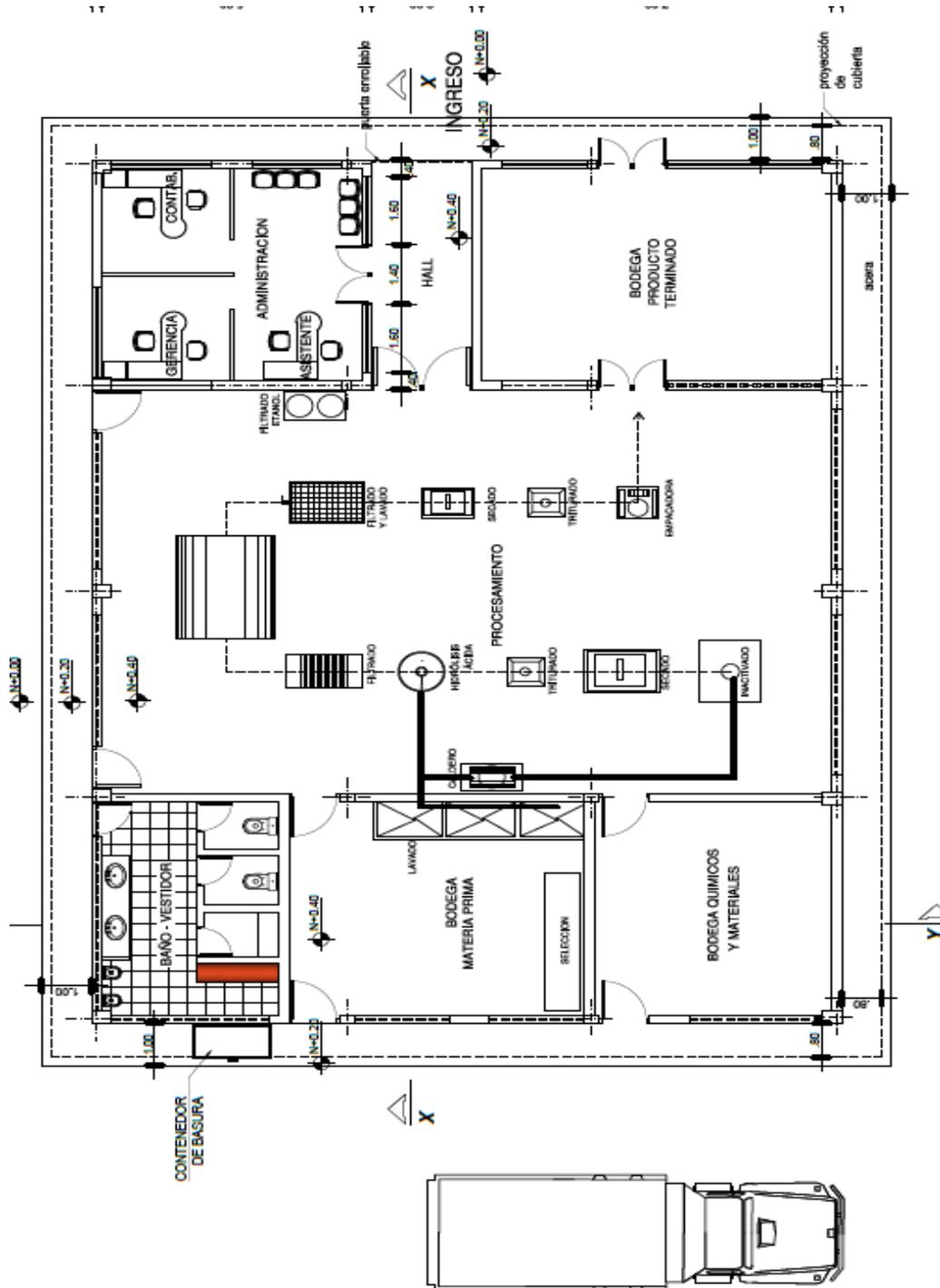
711

712

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

713

D-3: DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN



714

715

716

717

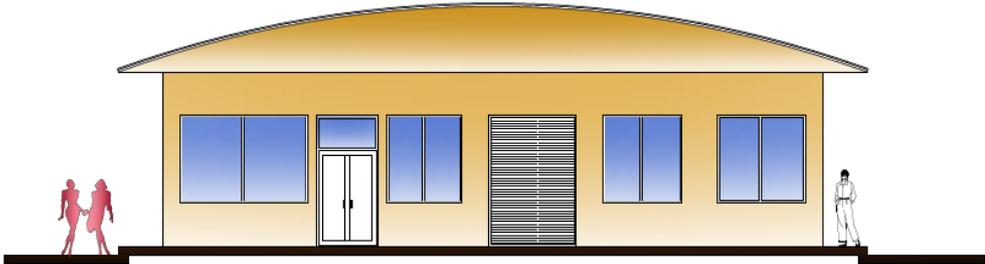
DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

718

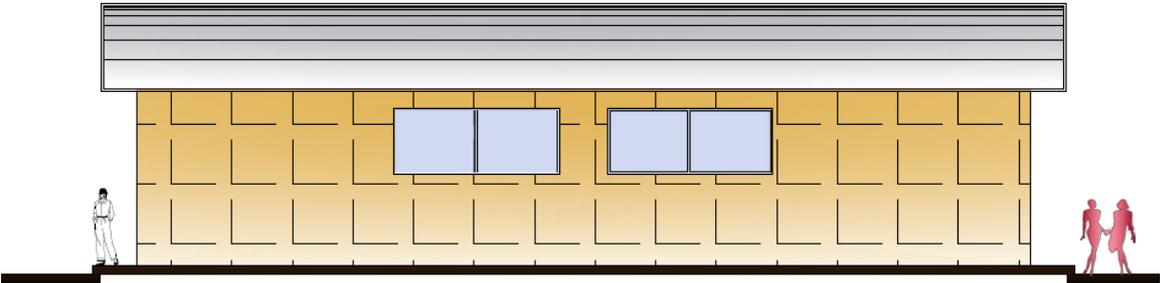
D-4: DISEÑO DE FACHADAS

719

720



FACHADA FRONTAL  
ESCALA ..... 1 : 100



FACHADA LAT. IZQUIERDA  
ESCALA ..... 1 : 100

721

722

723

724

725

726

727

728

729

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

730

731

## ANEXO E

732

## FOTOGRAFIAS

733

Figura 12 Lavado e Inactivado

734



735

Figura 13 Triturado



Figura 14 Residuo Seco y Triturado



DISEÑO DE UN PROCESO PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA COMO GELIFICANTE A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

736

737

Figura 15 Hidrólisis Ácida

738

739

740

741

742



743

Figura 16 Filtrado

744

745

746

747

748

749

750



Figura 17 Precipitado con alcohol



DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

751  
752  
753  
754  
755  
756  
757  
758  
759  
760  
761  
762  
763  
764  
765  
766  
767  
768

Figura 18 Filtrado



Figura 19 Lavado



DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

769  
770  
771  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778  
779  
780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787  
788  
789  
790  
791

Figura 20 Secado



Figura 21 Triturado



Figura 22 Pectina en Polvo





## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

814           En este estudio el rendimiento fue de 20.4%, que resulta ser mayor a otros estudios  
815 realizados en el país. Según Adossio, Paéz, Marín, Mármol, & Ferrer, (2005) a nivel industrial  
816 la cascara de frutos cítricos puede contener hasta cerca del 25% de sustancias pécticas. De la  
817 cáscara de limón según Ferrer, (1996) obtuvo el 20.54% de rendimiento, mientras Adossio et  
818 al., (2005) afirma que del maracuyá el máximo rendimiento es 18.45%.

819

820           Puede resultar complejo en este estudio, el realizar una comparativa del rendimiento  
821 obtenido con la inversión de materia prima, ya que la materia prima más importante en este  
822 caso es donación de los vendedores ambulantes de jugo de naranja.

823

824           Es importante realizar capacitaciones, tanto a los operadores de la planta así como a los  
825 distribuidores de materia prima, en este caso, especialmente a los vendedores de jugo de  
826 naranja, sobre BPM (Buenas prácticas de manufactura), debido a que se trata de un producto  
827 alimenticio y deben seguir normas de inocuidad alimentaria. Se sugiere abastecer de  
828 contenedores plásticos periódicamente sanitizados, a los vendedores ambulantes para que  
829 depositen exclusivamente los residuos de naranja, y mantengan el mínimo contacto con  
830 vectores contaminantes como los mosquitos.

831

832           En el diseño de la planta se muestra una sección de recuperación de metanol, este  
833 proceso se realizará con un filtro de carbón activado que se encargará de limpiar el alcohol  
834 utilizado para eliminar trazas ácidas y amargas que este pueda contener. Una vez lavado el  
835 alcohol, puede utilizarse para precipitar la pectina líquida, o lavar la pectina precipitada.

836

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

837           Debido al color de nuestra pectina obtenida, no cumple con las características  
838 demandadas para la elaboración de productos donde el color es una exigencia, como en las  
839 industrias lácteas. Se recomienda el uso de esta pectina para mermeladas y compotas de futas  
840 y vegetales, así como también para pulpas de frutas, conservas, y algunos productos de  
841 panadería y postres.

842           En caso que clientes requieran pectina de color claro, se realizaría un proceso de filtrado  
843 con carbón activado de la pectina líquida antes de agregar el alcohol para precipitar. De esta  
844 manera el color será menor, y la acidez también bajaría, dejando finalmente un producto útil  
845 para procesos lácteos. El PVP (precio de venta al público) de la pectina purificada deberá ser  
846 mayor.

847

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

848 **Conclusiones.**

849 Con el proceso seleccionado, se obtuvo extraer pectina como producto final. La pectina  
850 obtenida fue de alto grado de esterificación.

851  
852 El rendimiento obtenido es alto comparado con otros estudios que se han realizado en  
853 el país, o a partir de otras frutas. Se alcanzan los valores más altos de rendimientos descritos en  
854 bibliografía de referencia. Adicionalmente se debe considerar el costo nulo de la materia prima  
855 principal, lo que genera mayores ganancias económicas.

856  
857 El diseño obtenido de la planta piloto no es de gran complejidad para la construcción ni  
858 contiene equipos difíciles de conseguir, lo que conjuntamente con los resultados del estudio del  
859 mercado corrobora la viabilidad del proyecto.

860  
861 Una vez realizado el análisis económico se puede afirmar que la diferencia de precios  
862 que se puede llegar a ofrecer en el mercado, comparada con la que actualmente ofrece el  
863 mercado internacional adicionando impuestos de importación, complementa la aceptación de  
864 este producto en el mercado nacional.

865  
866 El mínimo precio que esta planta puede ofrecer al mercado es de 16,85 \$/kg, mientras  
867 el precio actual que los consumidores artesanales manejan es de \$34 dólares el kilo.

868  
869 Para iniciar la planta se recomienda ofrecer el precio para captar el mayor porcentaje  
870 posible de mercado.

## DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

871           En el futuro se podría realizar un aumento de PVP de acuerdo a como se encuentre el  
872 mercado en dicho momento.

873

874           Dentro de los beneficios ambientales que ofrece este proyecto es la reducción de los  
875 gases de efecto invernadero que actualmente son generados por las miles de toneladas de  
876 residuos de cáscara de naranja, subproducto de los vendedores ambulantes de jugo de esta fruta,  
877 ya que estos gases son considerados los más contaminantes y peligrosos para la capa de ozono.

878

879           En el ámbito de la matriz productiva, el proyecto desarrollado cumple con las  
880 expectativas que el gobierno busca para la implementación del desarrollo de dicha matriz, ya  
881 que aumenta la producción nacional, especialmente de un producto actualmente importado al  
882 100%, genera plazas de trabajo y además tiene una razón ambiental y de gestión de residuos  
883 sólidos orgánicos.

884

Referencias

- 885  
886  
887 Adossio, R., Paéz, G., Marín, M., Mármol, Z., & Ferrer, J. (2005). *Obtención y*  
888 *caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita ( Passiflora edulis f. flavicarpa*  
889 *Degener ) Resumen Introducción*. Universidad del Zulia. Retrieved from  
890 [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182005000300004](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182005000300004)  
891 Aldana, D., Aguilar, C., Contreras, J., & Nevaréz, G. (2011). Moléculas pécticas:  
892 extracción y su potencial aplicación como empaque. *TecnoCiencia Chihuahua*, 2, 76–82.  
893 Retrieved from  
894 [http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Moleculas\\_pecticas\\_extraccion\\_y\\_su\\_potenci](http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Moleculas_pecticas_extraccion_y_su_potencial_aplicacion_como_empaque.pdf)  
895 [al\\_aplicacion\\_como\\_empaque.pdf](http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Moleculas_pecticas_extraccion_y_su_potencial_aplicacion_como_empaque.pdf)  
896 Arellanes, A., Jaraba, M., Mármol, Z., & Páez, G. (2011). Obtención y caracterización  
897 de pectina de la cascara del cambur manzano ( Musa AAB ) Pectin yield and characterization  
898 from “ Manzano ” banana peels ( Musa AAB ) Introducción. *Revista de Facultad de*  
899 *Agronomía de La Univesrsidad de Zulia*, 28, 523–539. Retrieved from  
900 [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.revfacagronluz.org.ve/P](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre_diciembre2011/v28n4a2011523539.pdf)  
901 [DF/octubre\\_diciembre2011/v28n4a2011523539.pdf](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre_diciembre2011/v28n4a2011523539.pdf)  
902 Durán, V., Honores, M., & Cáceres, P. (2012). *Obtención de pectina en polvo a partir*  
903 *de la cáscara de maracuyá ( Passiflora Edulis )*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.  
904 Ferrer, B. De. (1996). injertados de la región Zuliana . l Extraction and  
905 characterization of pectin in grafted lemons of the Zulian region . Resumen Introducción.  
906 *Revista de Facultad de Agronomía de La Univesrsidad de Zulia*, 13, 641–645.  
907 Flores, R. B., Mariños, D. C., Rodríguez, N. B., & Rodríguez, S. (2013).

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

- 908 Agroindustrial Science. *Agroindustrial Science*, 2, 77–89. Retrieved from  
909 <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/500>
- 910 Morley, J. (2015). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA*  
911 *FÁBRICA DE PECTINA MORLEY*. Universidad Internacional del Ecuador. Retrieved from  
912 [repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/669%0A](http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/669%0A)
- 913 Oliveira, E. M. S. De, & Resende, E. D. De. (2012). Yield of albedo flour and pectin  
914 content in the rind of yellow passion fruit. *Ciência E Tecnologia de Alimentos*, 32(ahead), 0–  
915 0. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000067>
- 916 Pagan, J., & Gilabert. (1999). Degradación enzimática y características físicas y  
917 químicas de la pectina del bagazo de melocotón. *Alicante : Biblioteca Virtual Miguel de*  
918 *Cervantes*, 1999, 1–138. <https://doi.org/84-688-3807-1>
- 919 Rodriguez, K., & Román, A. (2004). “*EXTRACCIÓN Y EVALUACIÓN DE PECTINA*  
920 *A PARTIR DE LA CÁSCARA DE NARANJA DE LAS VARIEDADES Citrus sinensis y Citrus*  
921 *paradisi Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PLANTA PILOTO PARA SU PRODUCCIÓN* ”.  
922 Universidad del Salvador. Retrieved from <http://ri.ues.edu.sv/5623/>
- 923 Sierra, A. (n.d.). *La Naranja La Reina del Invierno*. Córdoba. Retrieved from  
924 <http://www.cofco.org/ficheros/Naranja2.pdf>
- 925 Ywassaki, L. A., & Canniatti-brazaca, S. G. (2011). Ascorbic acid and pectin in  
926 different sizes and parts of citric fruits. *Scielo Analytics*, 31(2), 319–326. Retrieved from  
927 <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612011000200007%0A>
- 928 Zegada, V. Y. (2015). Pectin extraction from Orange peels waste by Microwave  
929 assisted Acid Hidrolysis (MWAH). *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65–76. Retrieved from  
930 [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312015000100007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312015000100007&script=sci_arttext)

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

931	Tablas y Leyendas	
932		
933	Tabla 1 Contenido en sustancias pécticas en vegetales y tejidos vegetales (Pagan & Gilabert,	
934	1999) .....	8
935	Tabla 2. Pruebas de Laboratorio: Volumen de alcohol añadido en la precipitación .....	21
936	Tabla 3 Flujos de entrada y salida de los diferentes procesos.....	23
937	Tabla 4 parámetros fisicoquímicos en varias etapas.....	23
938	Tabla 5 Volúmenes de Reactores.....	24
939	Tabla 6 Datos de balance de masa para el proceso de inactivación o escaldado .....	25
940	Tabla 7 Balance de masa en el reactor CSTR de hidrólisis .....	27
941	Tabla 8 Volúmenes y % de conversión en PFR .....	30
942		
943		

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

944	Figuras e Ilustraciones	
945		
946	Figura 1: Estructura molecular básica de la pectina (Zegada, 2015).....	7
947	Figura 2: Esterificación de la Pectina (Canteri, Moreno, Wosiacki, & Scheer, 2012) .....	8
948	Figura 3: Clasificación de la Pectina (Zegada, 2015).....	10
949	Figura 4 Proceso de Extracción de Pectina .....	20
950	Figura 5 Figura 5 Rendimiento vs ml de etanol agregado por 20 gr de cáscara seca y triturada	
951	.....	21
952	Figura 6 Diagrama de flujo del proceso para la producción de pectina .....	22
953	Figura 7 Balance de masa: Selección y lavado .....	31
954	Figura 8 Balance de masa: inactivado, secado y triturado.....	32
955	Figura 9 Balance de masa hidrólisis .....	33
956	Figura 10 Balance de masa: filtraciones, precipitado y lavado .....	34
957	Figura 11 Balance de masa: secado, triturado, empaquetado, almacenamiento, y distribución	
958	.....	35
959	Figura 12 Lavado e Inactivado.....	44
960	Figura 13 Triturado.....	44
961	Figura 14 Residuo Seco y Triturado .....	44
962	Figura 15 Hidrólisis Ácida.....	45
963	Figura 16 Filtrado.....	45
964	Figura 17 Precipitado con alcohol .....	45
965	Figura 18 Filtrado.....	46

DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

966 Figura 19 Lavado ..... 46

967 Figura 20 Secado..... 47

968 Figura 21 Triturado..... 47

969 Figura 22 Pectina en Polvo..... 47

970

971

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

972	Contenido	
973	<b>Resumen</b> .....	3
974	Abstract.....	4
975	.....	4
976	Introducción.....	5
977	<i>Residuos de naranja</i> .....	6
978	<i>La pectina</i> .....	7
979	<i>Aplicación de la pectina</i> .....	11
980	<i>Extracción de pectina de tejidos vegetales</i> .....	12
981	<b>Cáscara de plátano (Cambur manzano):</b> .....	13
982	<b>Cáscara de limón:</b> .....	14
983	<b>Cáscara de maracuyá (Passiflora Edulis):</b> .....	15
984	<b>Cáscara de naranja:</b> .....	16
985	<b>Materiales y Métodos</b> .....	18
986	Resultados.....	19
987	Anexo A.....	25
988	CALCULO DE VOLUMENES DE REACTORES.....	25
989	A-2: DISEÑO DE REACTOR CSTR PARA HIDRÓLISIS.....	27
990	A-3: DISEÑO DEL REACTOR PFR (REACTOR FLUJO PISTÓN) PARA LA	
991	ESTERIFICACIÓN.....	29
992	Anexo B.....	31
993	BALANCE DETALLADO DE CADA PROCESO.....	31
994	B-1: RECEPCIÓN, SELECCIÓN Y LAVADO.....	31
995	B-2: INACTIVADO, SECADO Y TRITURADO.....	32
996	B-3: HIDRÓLISIS.....	33
997	B-4: FILTRACIONES, PRECIPITADO Y LAVADO.....	34
998	B-5: SECADO, TRITURADO, EMPAQUETADO, ALMACENAMIENTO Y	
999	DISTRIBUCIÓN.....	35
1000	ANEXO C.....	36
1001	ANALISIS ECONOMICO.....	36
1002	ANEXO D.....	39
1003	DISEÑO DE PLANTA Y REACTORES PRINCIPALES EN AUTOCAD.....	39
1004	ANEXO E.....	44
1005	FOTOGRAFIAS.....	44

# DISEÑO DE UN PROCESOS PILOTO DE EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE LA NARANJA

1006	Discusión.....	48
1007	Conclusiones.....	51
1008	Referencias .....	53
1009	Tablas y Leyendas.....	55
1010	Figuras e Ilustraciones.....	56
1011		