

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de:

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**DISEÑO *INSILICO* DEL PROCESO TECNOLÓGICO PARA LA OBTENCIÓN DE
ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA
PROVINCIA DE PASTAZA.**

AUTOR

VIVIANA MONSERRATH TENEMAZA BRITO

DIRECTORES

AMAURY PÉREZ MARTINEZ

KAREL DIÉGUEZ SANTANA

PUYO-PASTAZA-ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

RESPONSABILIDAD

Yo, Viviana Monserrath Tenemaza Brito, bajo juramento declaro que el trabajo aquí descrito es de mi total autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional, y he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente trabajo.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Universidad Estatal Amazónica de la provincia de Pastaza, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa Institucional vigente.

Viviana Monserrath Tenemaza Brito

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Por medio del presente, nosotros Amaury Pérez Martínez, con el número de cédula 175715076-6 y Karel Diéguez Santana, con número de cédula 175644412-9 certificamos que la egresada Viviana Monserrath Tenemaza Brito, realizó el trabajo de investigación y desarrollo titulado “DISEÑO *INSILICO* DEL PROCESO TECNOLÓGICO PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE PASTAZA”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial bajo nuestra supervisión.

.....

Amaury Pérez Martínez

C.I. 175715076-6

.....

Karel Diéguez Santana

C.I. 175644412-9

DIRECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ESTE PROYECTO FUE REVISADO Y APROBADO POR EL SIGUIENTE TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN O GRADO.

.....
Dr.Reinier Abreu Naranjo,PhD
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....
MSc. Paul Manobanda Pinto
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....
Dr. Segundo Valle Ramírez, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

2017-2018

AGRADECIMIENTO

Haciéndome eco de una frase " No borres ningún día de tu vida. Los días bellos te han dado felicidad los días malos experiencia y los peores te han enseñado a vivir" expreso un imperecedero agradecimiento primeramente a Dios por haberme dado la vida y fortalecerme espiritualmente para comenzar un camino lleno de éxito.

A mi madre,por haberme dado la vida aunque fue muy poco los años que pude compartir junto a ti pero me enseñaste lo mejores valores que puede tener un ser humano donde quiera que te encuentres madre querida,siempre te tendré presente en mi mente y mi corazón desde el cielo guiaras cada paso que yo de en mi vida.

A mi padre,por ser ese pilar fundamental en mi vida que me da la fuerza para salir adelante y no darme por vencida, por ser ese apoyo incondicional durante mi educaciónpara poder culminar con mis metas y sueños propuestos por haberme inculcado principios y valores.Por ser mi ejemplo a seguir y enseñarme que nunca hay que darse por vencida por mas difícil que sea que siempre hay que salir adelante y luchar por lo que se quiere.

A mi hermano, tu eres el motor que me impulsa a ser mejor cada día para que siempre te sientas orgullosa de mí. Por ser mi amigo, mi confidente y compañero de travesuras, por tus consejos y apoyo incondicional en los momentos buenos y malos.

A mi tío,por haberme apoyado incondicionalmente en los buenos y malos momentos de alegrías y tristezas estando siempre pendiente de mí sin importar la distancia,por haberme apoyado en mis estudios logrando cumplir mi meta anhelada.

A mis abuelitos, por haberme brindando su atención y cuidado.

A mis demás familiares tíos, tías,primos,primas por sus consejos y sus buenos decesos para que este sueños se haga realidad.

A mis maestros por su tiempo y dedicación, quienes compartieron conmigo sus conocimientos para lograr convertirme en una profesional.

A mis tutores por su paciencia,tiempo y dedicación ya que sin ellos no hubiese sido posible culminar con este proyecto.

A la Universidad Estatal Amazónica especialmente al personal Administrativo,docentes y compañeros de la Facultad Ciencias de la Tierra con quienes hemos compartido los duros y agradables momentos que como estudiantes nos toca vivirlos pero que al final se recibe su recompensa y solo quedan los bellos momentos compartidos que se quedaran incrustados en lo más profundo de mi corazón.

A mis compañeros,compañeras,amigos y amigas, por ser parte de mi vida de mis momentos tristes y alegres por siempre estar ahí apoyándome incondicionalmente.

Viviana Tenemaza Brito

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y darme la dicha de tener una hermosa familia que siempre nos ha bendecido y nos ha unido a pesar de los obstáculos que se nos han atravesado en la vida por cubrirme con su manto de bendiciones fe y sabiduría que gracias a ello he podido culminar con una fase más en mi vida profesional.

A mi madre Guadalupe Brito, por su amor, sus consejos y valores que desde el cielo me cuidas y me proteges y vas estar orgullosa de mí.

A mi padre Fidel Tenemaza, por ser la persona más importante en mi vida quien ha estado siempre a mi lado confiando en mí, por su ejemplo de perseverancia y constancia que lo caracteriza.

A mi hermano David Tenemaza, por estar conmigo apoyándome, cuidándome y consintiéndome siempre eres el mejor.

A mi tío Geovanny Brito, por ser ese apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida.

A mis abuelitos Clara Lema, Julio Tenemaza, María Grijalva y Ramón Brito por quererme y apoyarme siempre esto también se lo debo a ustedes.

Viviana Tenemaza Brito

I. RESUMEN Y PALABRAS CLAVES.

El presente trabajo tiene como finalidad la aplicación del diseño *insilico* del proceso tecnológico, para la producción de ácido cítrico en la Provincia de Pastaza con una disponibilidad de 179,42 t/día de bagazo de caña de azúcar que se produce de la fabricación artesanal de panela. Se utilizó el simulador *SuperPro Designer* para simular las capacidades de 36 t, 54 t, 63 t, 72 t y 108 t, tomando en cuenta que se simuló desde 108 t/día, ya que las producciones están propensas a fluctuaciones equivalentes al 40%, se establecieron diversas capacidades de materia prima disminuyendo de 18 en 18 T hasta 36 t/día. El proceso tecnológico seleccionado que comprende el acondicionamiento, pretratamiento, fermentación sólida, separación por extracción líquido-líquido con reacción química y purificación (evaporación, cristalización, centrifugación, secado). Se aplicó el método de toma de decisiones (diagrama heurístico) para el análisis técnico económico y ambiental. De los intervalos simulados anteriormente la capacidad óptima es de 108 t con Valor Actual Neto (VAN) de \$22 516 000, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 24 % y un período de recuperación de la inversión (PRD) de 4.13 años y la capacidad cuando el VAN queda en cero a una tasa de interés determinada es de 49 t, ya que a partir de esa capacidad se generan ganancias. Los residuos generados son: sólidos (yeso, biomasa), líquidos (lignina, agua de lavado, hidrolasas) y emisiones de CO₂ que se destinan para la producción de nuevos productos o tratamientos que sean compatibles con el medio ambiente.

Palabras clave: Ácido cítrico, Diagrama Heurístico, *SuperPro Designer*, Bagazo de caña.

ABSTRACT ANDKEYWORDS

The purpose of this paper is to apply the in silico design of the technological process for the production of citric acid in the Province of Pastaza with an availability of 179.42 t / day of sugarcane bagasse produced by handicraft production of panela. The SuperPro Designer simulator was used to simulate the capacities of 36t, 54t, 63t, 72t and 108t, taking into account that it was simulated from 108 t / day, since the productions are prone to fluctuations equivalent to 40%, diverse capacities were established of raw material decreasing from 18 in 18 T to 36 t / day. The selected technological process that includes the conditioning, pre-treatment, solid fermentation, separation by liquid-liquid extraction with chemical reaction and purification (evaporation, crystallization, centrifugation, drying). The method of decision making (heuristic diagram) was applied for technical economic and environmental analysis. From the intervals simulated above, the optimum capacity is 108 t with a Net Present Value (NPV) of \$ 22 516 000, an Internal Rate of Return (IRR) of 24% and a period of investment recovery (PRD) of 4.13 years. and the capacity when the NPV is at zero at a certain interest rate is 49 t, since profits are generated from that capacity. The waste generated is: solids (gypsum, biomass), liquids (lignin, wash water, hydrolases) and CO₂ emissions that are destined for the production of new products or treatments that are compatible with the environment.

Keywords: Citric Acid, Heuristic Diagram, SuperPro Designer, Bagasse cane.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACION DE LA INVESTIGACION.....	3
1.1. PROBLEMA DEINVESTIGACIÓN.	3
1.2. HIPÓTESIS.	5
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN. MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1. CARACTERIZACION DE LA INDUSTRIA PANELERA.	6
2.2. CARACTERIZACION DEL ACIDO CITRICO.....	7
2.3. TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION DE ACIDO CITRICO.....	9
2.4. TECNOLOGIA PARA PRODUCIR ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA.....	15
2.4. MARCO REFERENCIAL.....	24
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
3.1. LOCALIZACIÓN.....	26
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	26
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.	27
3.4. FUENTES DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	27
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	28
3.6. INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.	30
3.7. TRATAMIENTO DE LOS DATOS.....	30
3.8. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.....	30
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	32
4.1. DISEÑO DE PROCESOS.....	32
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. CONCLUSIONES	49
5.2. RECOMENDACIONES.....	50
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.....	51
CAPÍTULO VII ANEXOS	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición para cada 100 gramos de panela.....	6
Tabla 2 Producción actual de los derivados de la caña de azúcar en la Provincia.	7
Tabla 3 Usos y aplicaciones del ácido cítrico.....	8
Tabla 4 Procesos tecnológicos para la obtención de ácido cítrico.....	9
Tabla 5 Densidad del bagazo de caña de azúcar en función de la humedad y la compactación.	16
Tabla 6. Propiedades de la Fibra del Bagazo de Caña.....	17
Tabla 7. Composición química del bagazo de caña de azúcar.	17
Tabla 8 . Determinación de la Provincia de Pastaza.....	26
Tabla 9 Recursos Humanos del Proyecto de Investigación del Ácido Cítrico.....	30
Tabla 10 Materiales usados en el Proyecto de Investigación	31
Tabla 11 Disponibilidad de bagazo de caña de azúcar	37
Tabla 12 Indicadores ambientales.	39
Tabla 13 Disponibilidad vs consumo de bagazo de caña de azúcar.	40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Ishikawa. Fuente: Elaboración Propia.....	4
Figura 2 Estructura química del ácido cítrico. Fuente: (Fuentealba, 2015)	8
Figura 3. Diagrama de Bloque del Ácido Cítrico.....	10
Figura 4 Proceso de obtención de ácido cítrico. Fuente: (Rivada Núñez, 2008).	11
Figura 5 Separación del ácido cítrico. Fuente: Modificado de (Rivada Núñez, 2008)	14
Figura 6 Purificación del ácido cítrico. Fuente: Modificado de (Rivada Núñez, 2008)....	14
Figura 7 Bagazo de caña de Azúcar. Fuente: (Gutiérrez Solís, 2016)	15
Figura 8 Estructura química de la celulosa. Fuente: (García García, Bordallo López, Dopico Ramírez, & Cordero Fernández, 2013).....	18
Figura 9 Estructura de la hemicelulosa del bagazo de caña. Fuente: (Fotoselmagenes., 2015).....	18
Figura 10 Estructura de la lignina del bagazo de caña de azúcar. Fuente: (Durán Siles, 2007).....	19
Figura 11 Reacciones químicas que se producen en el almacenamiento del bagazo de caña de azúcar. Fuente: (Aguilar Rivera, 2011)	20
Figura 12 Aspergillus Níger. Fuente: (Québec., 2016)	21
Figura 13 Morfología del género A. niger. Fuente. (Alcala, Muñoz, Pelaez, & Bouza, 1992).....	22
Figura 14 Procedimiento secuencial para el diseño de proceso. Fuente: (Pérez Martínez et al., 2012).....	29
Figura 15 Fuentes de Obtención de Ácido Cítrico. Fuente. Elaboración Propia.....	33
Figura 16 Diagrama de Bloque para la producción de ácido cítrico. Fuente: Elaboración Propia.....	33
Figura 17 Acondicionamiento del bagazo de caña de azúcar. Fuente. Elaboración Propia.	34
Figura 18 Pretratamiento del bagazo de caña de azúcar. Fuente. Elaboración Propia	35
Figura 20 Perspectivas para una diversificación de países proveedores para un producto importado por Ecuador en 2016. Fuente. (Trademap, 2017b).....	37
Figura 21. Crecimiento de la demanda nacional y de la oferta internacional para los productos importados por Ecuador en 2016. Fuente: (Trademap, 2017a).	37
Figura 22 Coste anual de eliminación de residuos. Fuente: Elaboración Propia.	41
Figura 23 Costos totales de adquisición de equipos. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 24 Costos de operación anual vs las capacidades de bagazo de caña de azúcar. Fuente. Elaboración Propia.....	45
Figura 25 Análisis de VAN las diferentes capacidades simuladas. Fuente: Elaboración Propia.....	46
Figura 26. Cálculo de la capacidad cuando el VAN queda en cero a una tasa de interés determinada. Fuente: Elaboración Propia	46

ANEXOS

ANEXO 1. CANTIDADES DE MATERIALES.....	54
ANEXO 2. CANTIDAD DE UTILIDADES.....	55
ANEXO 3. CANTIDAD DE RESIDUALES	56
ANEXO 4. DIMENSIONAMIENTO Y COSTOS DEL EQUIPAMIENTO. (PRECIOS 2010).....	57
ANEXO 5. COSTO DE INVERSIÓN.....	60
ANEXO 6. COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL (PRECIOS DE 2010) OBTENIDOS..	61
ANEXO 7. INDICADORES DINÁMICOS ECÓNICOS.	62

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Estimación de la capacidad de bagazo de caña.....	38
--	----

CÓDIGO DUBLIN

Título	DISEÑO <i>INSILICO</i> DEL PROCESO TECNOLÓGICO PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA PROVINCIA DE PASTAZA.			
Autor	Tenemaza Brito Viviana Monserrath			
Palabras clave:	Ácidocítrico	Diagrama Heurístico	<i>SuperPro Designer</i>	Bagazo de caña
Fecha de publicación:	16-febrero-18			
Editorial				
Resumen: (hasta 300 palabras)	<p>El presente trabajo tiene como finalidad la aplicación del diseño <i>in silico</i> del proceso tecnológico, para la producción de ácido cítrico en la Provincia de Pastaza con una disponibilidad de 179,42 t/día de bagazo de caña de azúcar que se produce de la fabricación artesanal de panela. Se utilizó el simulador <i>SuperPro Designer</i> para simular las capacidades de 36t, 54t, 63t, 72t y 108t, tomando en cuenta que se simuló desde 108 t/día, ya que las producciones están propensas a fluctuaciones equivalentes al 40%, se establecieron diversas capacidades de materia prima disminuyendo de 18 en 18 T hasta 36 t/día. El proceso tecnológico seleccionado que comprende el acondicionamiento, pretratamiento, fermentación sólida, separación por extracción líquido-líquido con reacción química y purificación (evaporación, cristalización, centrifugación, secado). Se aplicó el método de toma de decisiones (diagrama heurístico) para el análisis técnico económico y ambiental. De los intervalos simulados anteriormente la capacidad óptima es de 108 t con Valor Actual Neto (VAN) de \$22 516 000, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 24 % y un período de recuperación de la inversión (PRD) de 4.13 años y la capacidad cuando el VAN queda en cero a una tasa de interés determinada es de 49 t, ya que a partir de esa capacidad se generan ganancias. Los residuos generados son: sólidos (yeso, biomasa), líquidos (lignina, agua de lavado, hidrolasas) y emisiones de CO₂ que se destinan para la producción de nuevos productos o tratamientos que sean compatibles con el medio ambiente.</p>			
Descripción:	76 hojas dimensiones. 29 x 21 cm + CD-ROM 6162			
URI:	(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)			

INTRODUCCIÓN

En los países tropicales el bagazo de caña de azúcar por su bajo precio y abundancia es considerado como material lignocelulósico por sus principales componentes de celulosa, hemicelulosa y lignina. Por cada tonelada de azúcar se obtiene de 0,27 a 0,3 toneladas de bagazo, mismo que es utilizado en las calderas de vapor como combustible (Albernas Carvajal, Pedraza Gárciga, Corsano, Rodríguez Rodríguez, & González Suárez, 2015).

El bagazo de caña de azúcar tiene diferentes usos tales como, la pulpa del bagazo se utiliza para la elaboración de envolturas, papel higiénico, pañuelos faciales, toallas, papel corrugado y cartón. Para obtener tabloncillos sólidos se usa las fibras de celulosa mismas que se entrecruzan entre si mediante presión. La combinación de fibras de celulosa con aglutinantes, pegamentos que sirven para alcanzar un material idóneo para la construcción. Las partículas finas de bagazo sirven para la fabricación de rayón y altos explosivos. La lignina se usa para la producción de plásticos. El xilitol se emplea como endulzante para los diabéticos (Boarini Sorg, 2006).

Además, es aprovechado como fuente de energía y sirve también como materia prima fundamental para la fabricación de productos tales como: celulosa, acetato de celulosa, esteroides celulósicos, derivados de la lignina, furfural, alcohol furfurílico, derivados furánicos, ácido fórmico, alcohol etílico, proteína unicelular, carbón activado, aglomerados, placas prensadas e inclusive para raciones animales (Subirós Ruiz, 2002).

En la provincia de Pastaza estos residuos de bagazo son almacenados a la intemperie, próximo al área de procesamiento de la panela. La cual no recibe ninguna clase de tratamiento físico o químico por lo que se convierte en un medio óptimo de proliferación de microorganismos de diferentes especies (González Rivera, 2013). Por este motivo se ve la necesidad de reutilizar el bagazo en la obtención de ácidos orgánicos principalmente el ácido cítrico empleado como aditivo en diferentes industrias (Lozano García & Castillo Rueda, 2015).

La composición del bagazo de caña de azúcar es aproximadamente de 50% de humedad, el 5% de sólidos solubles, el 45% de sólidos insolubles o llamada también fibra cruda, el 47% de carbono, el 6,5% de hidrógeno, 2,5% de cenizas. Su estructura de forma general tiene valores al: 75% de holocelulosa, 50% de celulosa, 13% de celulosa beta y gama, 25% hemicelulosa, 20% de lignina y el 5% de otros componentes (Oliva, Antolín, & Escalada, 2004).

A partir del bagazo de caña como materia prima por vía fermentativa se puede obtener ácido cítrico. El ácido cítrico es considerado como un ácido orgánico tricarbónico, su fórmula química es $C_6H_8O_7$ y en IUPAC es el ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarbónico. Es conocido como un polvo cristalino de color blanco e inodoro. Su sabor característico es ácido fuerte (Soccol, Vandenberghe Luciana, Rodrigues, & Pandey, 2006).

En el mundo el 99 % de la producción de ácido cítrico se obtiene por procesos microbianos en donde se mezcla la dextrosa o melaza de caña de azúcar como materia prima y del *Aspergillus Níger* como organismo de fermentación. El constante incremento de consumo cada año genera nuevas opciones para su obtención. El producto se vende comúnmente como anhídrido o mono hidrato, en donde el 70% de la productividad total es de 1,5 millones de t/año que se usa en la industria alimentaria y bebidas se usa como acidificantes o antioxidantes que ayudan a la preservación de sabores y aromas de los jugos de frutas, helados y mermeladas. El 20% se utiliza en la industria farmacéutica como antioxidante para la conservación de vitaminas, efervescentes, correctores del pH, conservantes de sangre, ungüentos y cosmetología. El 10% restante se usa en la industria química, como un agente de formación de espuma que ayuda al ablandamiento y tratamiento de los textiles (Pérez Navarro, Ley Chong, Rodríguez Marroquí, & González Suárez, 2016).

En la metalurgia diversos metales se utilizan como citrato. En la fábrica de detergentes se utiliza como un suplente de fosfato, debido al bajo efecto eutrófico, y en el cemento al endurecimiento del mismo, en los materiales se utiliza para la consecución de híbridos mediante la síntesis tipo sol-gel (Muñoz Villa, Sáenz Galindo, López López, Cantú Sifuentes, & Barajas Bermúdez, 2014).

En Ecuador el ácido cítrico es un producto importante para diferentes empresas, química, alimenticia, farmacéutica, cosmética, agrícola. Sin embargo, en las fábricas de alimentos y bebidas se usa un 75% como ingrediente principal en bebidas carbonatadas y edulcorantes. Al no existir una producción nacional de ácido cítrico, es necesario su importación de países como: China, Estados Unidos, Alemania, Colombia, Italia, Uruguay y Brasil representando un costo muy alto. Conforme el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2015) en el 2014 se importaron aproximadamente 4.325.893 t representando un rubro de \$ 18.550.503 y en el 2015 (Enero – Septiembre) cerca de 4.000.000 t con un costo de \$ 13.000.000 (Alvarez Santana, 2017).

CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la provincia de Pastaza la producción panelera genera desechos agroindustriales que son de nuestro interés en este caso es el bagazo de caña de azúcar. Es el residuo obtenido de la molienda de la caña de azúcar los productores lo utilizan en poca cantidad como biocombustible o lo dejan almacenado a la intemperie en el campo. Por lo que se genera un problema de contaminación para el medio ambiente debido a su contenido orgánico y presencia de microorganismos tales como *A.Níger* y *Trichoderma*, creándose problemas de salubridad ya que no se le ha dado ningún tipo de utilización a nivel industrial y biotecnológico.

El uso principal que se le da al bagazo es el aprovechamiento como fuente de energía. Existiendo una gran variedad de productos que se pueden obtener. A partir del bagazo se pueden obtener productos como papel y celulosa, acetato de celulosa, esteres celulósicos, derivados de la lignina, furfural alcohol furfurílico, derivados furánicos, ácido fórmico, alcohol etílico, proteína unicelular, carbón activado, aglomerados, placas prensadas y ácidos orgánicos como es el ácido cítrico. El diagrama de Ishikawa se contruye con el diagrama de Pareto demostrándose solo el resultado. A continuación, se detallan las causas que producen en el diagrama de Ishikawa en la Figura 1.

En la Figura 1, del diagrama de Ishikawa se visualiza que en la Provincia de Pastaza el problema principal es el inadecuado aprovechamiento del bagazo de caña. Las principales causas están relacionadas con la falta de capacitación a los productores paneleros, la ausencia de maquinaria e infraestructura y el mal manejo de residuos que provoca la proliferación de microorganismos. Debido a la gran cantidad de materia prima almacenada a la intemperie se genera problemas ambientales y molestias en la salud de los paneleros. Por ello se han realizado investigaciones que pretender dar diversos usos en la cogeneración de energía, alimento animal, biocombustible, obtención de ácidos orgánicos como el ácido cítrico.

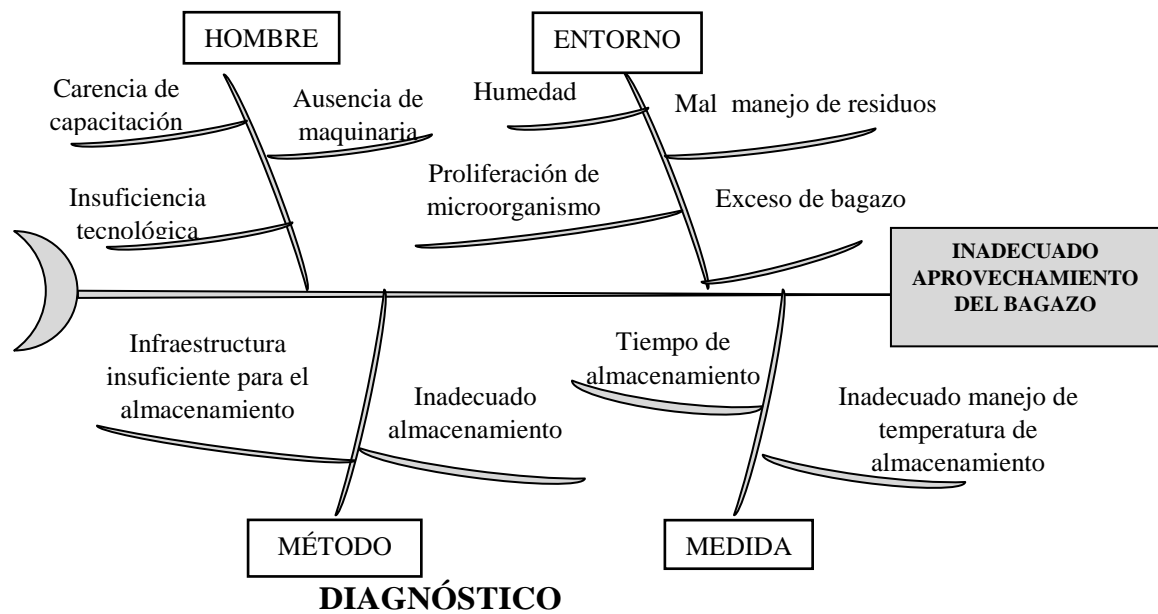


Figura 1.Diagrama de Ishikawa. **Fuente:** Elaboración Propia

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

El insuficiente aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en las paneleras de la Provincia de Pastaza, genera contaminación al medio ambiente, riesgo biológico y a la salud humana.

1.1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

Situación Problemática: Utilizar los residuos que se producen en las paneleras de la Provincia de Pastaza, que requiere del acondicionamiento, infraestructura y un proceso tecnológico alterno para la adquisición de nuevos productos, procesos tecnológicos viables para su desarrollo económico y ambiental.

¿Es factible crear una industria de producción de ácido cítrico a partir del bagazo de caña de azúcar en Pastaza?

¿Cuántas paneleras estarían en condiciones para la implementación de nuevas tecnologías y aplicación para la obtención de producto óptimo?

¿Qué cantidad de materia prima sería utilizada para la producción de ácido cítrico?

1.2. HIPÓTESIS.

¿Será factible el aprovechamiento de los residuos agroindustriales como el bagazo de caña de azúcar para el proceso tecnológico de producción de ácido cítrico?

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar *in silico* el proceso tecnológico para la obtención de ácido cítrico a partir del bagazo de caña en la provincia de Pastaza.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Caracterizar los procesos de pretratamientos para la hidrólisis del bagazo y la producción de ácido cítrico.
2. Seleccionar la tecnología para la producción de ácido cítrico.
3. Realizar la evaluación técnico-económica y ambiental del diseño *in silico* del proceso tecnológico para la producción de ácido cítrico.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación tiene como fin diseñar un proceso tecnológico para la producción de ácido cítrico, tomando como sustrato el bagazo de caña ya que es un subproducto desechado por las industrias paneleras, este a su vez es de gran importancia por su contenido en azúcares, fibra, proteína y otros componentes, mismo que hace que sea un excelente medio de cultivo para fermentaciones industriales. Tomando en cuenta que en Ecuador y específicamente en la Provincia de Pastaza no existe producción de ácido cítrico a nivel industrial debido a la falta de tecnología y conocimiento, sin embargo, se podría adaptar este proceso de obtención, llevándolo a un nivel industrial para que se pueda aprovechar y diversificar este subproducto mismo que se convertiría como fuente de ingresos económicos manteniendo un equilibrio y sostenibilidad.

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.MARCO CONCEPTUAL.

2.1.CARACTERIZACIÓN DE LA INDUSTRIA PANELERA.

El componente principal de la panela es el azúcar sacarosa con un contenido que oscila entre el 75 y 85% del peso seco, la glucosa y fructuosa se encuentra en menor cantidad. Su composición por cada 100gr de panela se puede apreciar en la tabla 1. Es apreciado porque no contiene químicos ni conservantes. La panela se la puede encontrar en varias presentaciones redondas, cuadradas, pastilla, granulada, y polvorizada (Salazar Riofrío, 2012).

Tabla 1. Composición para cada 100 gramos de panela

Carbohidratos	Mg	vitaminas	Mg
Sacarosa	72 a 78	Pro vitamina	2.00
Fructuosa	1.4 a 7	Vitamina A	3.80
Glucosa	1.5 a 7	Vitamina B1	0.01
Minerales		Vitamina B2	0.06
Calcio	40 a 100	Vitamina B5	0.01
Magnesio	70 a 90	Vitamina B6	0.01
Fósforo	20 a 90	Vitamina C	7.00
Sodio	19 a 30	Vitamina D2	6.50
Hierro	10 a 13	Vitamina E	111.30
Manganeso	0.2 a 0.5	Vitamina PP	7.00
Zinc	0.2 a 0.4	Proteínas	280mg
Flúor	5.3 a 6.0	Agua	1.5 a 7.0 g
Cobre	0.1 a 0.9	Calorías	312

Fuente:(González Rivera, 2013)

En los países tales como: Colombia, Perú, Venezuela y principalmente Ecuador se utiliza la panela como parte de su alimentación ya que a partir de la panela se puede elaborar melado o miel de panela que es una variedad de caramelo que se lo utiliza comúnmente como una base para los postres y dulces tradicionales. En la elaboración de bebidas conocidas como aguapanela, papelón con limón o agua dulce. El 20% de su producción se utiliza para la fabricación de panela y el 80% para la producción de azúcar y alcohol etílico, a partir del jugo de caña y melaza relativamente (Sablón Cossío, Pérez Quintana, Acevedo Suárez, Chacón Guerra, & Villalba Pozo, 2016).

Específicamente la Provincia de Pastaza se caracteriza por ser una de las principales productoras de caña de azúcar ya que cuenta con 4500 hectáreas.(González Rivera,

2013).El 30% de caña se usa para la elaboración de aguardiente y caña en fruta, el 40% de caña se utiliza para la elaboración de panela en diferentes presentaciones,panela granulada y de ladrillo misma que está designada al Programa Aliméntate Ecuador. El 10% de caña restante como residuo, por plagas y enfermedades(Sablón Cossío et al., 2016).

En la actualidad el 30% de la producción Agropecuaria de caña de azúcar y sus derivados (Tabla 2), ayuda a un gran número de familias a mejorar sus ingresos económicos ya que participan en los procesos de cultivo, procesamiento, transportación y comercialización (Salazar Riofrío, 2012).

Tabla 2Producción actual de los derivados de la caña de azúcar en la Provincia.

Producto	Producción Actual
Panela Granulada	60.000 kilos mensuales
Panela en Bloque	10.000 kilos mensuales
Panela en Maito	5.000 kilos mensuales
Miel de Panela	500 litros mensuales
Jugo de Caña	N/D

Fuente:(González Rivera, 2013)

La ASOCAP (Asociación de Cañicultores de Pastaza), constituye actualmente 135 familias que están distribuidas en Cantones de la Provincia de Pastaza que son 83 familias que ofrecen solo la producción de caña y 52 familias a la elaboración de la panela y derivados de la caña de azúcar (González Rivera, 2013).

2.2.CARACTERIZACIÓN DEL ÁCIDO CÍTRICO.

El ácido cítrico es un componente natural y un metabolito frecuente que se encuentra en los animales y plantas su estructura química se presenta en la figura 2. Este es un ácido orgánico variable que se usa en diferentes industrias como: agente antioxidante,acidificantearomatizante,conservante, quelante y tamponante, en las fábricas de alimentos, bebidas farmacéuticas y cosméticas. Este ácido se produce mediante fermentación sumergida a partir de la de melaza, con el hongo *Aspergillus Niger*.Sin embargo, el elevado requerimiento del ácido cítrico ha llevado a la investigación de aplicar nuevas tecnologías para producir másácido cítrico (Amenaghwon, Areguamen, Agbroko, Ogbeide, & Okieimen, 2013).

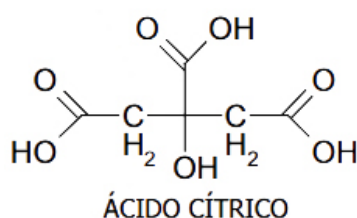


Figura 2 Estructura química del ácido cítrico. **Fuente:** (Fuentealba, 2015)

Mediante estudios se ha evidenciado un gran interés en la obtención de ácido cítrico mediante la fermentación en estado sólido por sus ventajas tales como, la conservación de la energía de la biomasa, menor riesgo de la contaminación microbiana y ambiental, mediante la utilización de residuos agrícolas, bagazo de caña azúcar, mazorcas de maíz, piña, cáscara de manzana y cáscara de uva (Amenaghwon et al., 2013).

El ácido cítrico se utiliza en la industria alimentaria como acidulante por su sabor ácido ya que contiene una alta disolución en agua, su aplicación es primordial en la industria debido a su clasificación en la FAO y la OMS como ingrediente en alimentos, alrededor del 24% se usa en la elaboración de detergentes biodegradables, el 10% de la producción se utiliza en las industrias farmacéuticas, cosmetológicas y de plástico. Al año la producción es de 400.000 toneladas, ver tabla 3 (Soria, 1997).

Tabla 3 Usos y aplicaciones del ácido cítrico

Industria	Uso y aplicación
Bebidas	Saborizante y regulador del pH incrementa la efectividad de los conservantes microbianos.
Dulces y Conservas	Acidulante y regulador del pH para lograr una óptima gelificación.
Verduras Procesadas	En combinación con ácido ascórbico previene la oxidación.
Alimentos congelados	Ayuda de la acción de los antioxidantes; inactivas, enzimas, previniendo pardeamientos indeseables; inhibe el deterioro del sabor y el color.
Frutas y Hortalizas Enlatadas	Disminuye el pH; previene la oxidación enzimática y la degradación del color resalta el sabor.
Aceites y Grasas	Previene la oxidación
Quesos Pasteurizados y Procesados	En forma de sal como emulsificante y texturizante.
Lácteos	Estabilizante en cremas batidas.
Carnes	Se utiliza como auxiliar del procesado y modificador de textura.
Jaleas mermeladas	Proporciona acidez. Ajusta del pH
Fruta congelada	Disminuye el pH para inactivar las enzimas oxidativas. Protege el ácido ascórbico por inactivación de trazas de metales.
Farmacia	Como efervescente en polvos y comprimidos

	en combinación con bicarbonatos. Proporciona una rápida disolución de los ingredientes activos. Acidulante en la formulación astringente suave. Anticoagulante.
Cosméticos y artículos de tocador	Ajuste del pH antioxidante como un quelante metálico de litio agente buffer.
Aplicaciones Industriales	Secuestrante de iones metálicos agente neutralizante agente buffer.
Limpieza metales	Elimina los óxidos metálicos de la superficie de los metales ferrosos y no ferrosos por limpieza preparativa y operativa de óxidos de hierro y cobre.

Fuente:(Rosas Criollo & Terán Fuentes, 2015)

2.3. TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO.

En la tabla 4, se puede apreciar distintos procesos tecnológicos, para la producción de ácido cítrico.

Tabla 4 Procesos tecnológicos para la obtención de ácido cítrico.

Acondicionamiento	Pretratamiento	Fermentación	Separación	Purificación	
Lavado	Físicos	Reducción de tamaño	Fermentación sumergida	Adsorción	Refinación
Secado	Químicos	Hidrolisis química (H ₂ SO ₄ HCl)	Fermentación sólida	absorción e intercambio	Cristalización
Molido		Organosolvente Ozonolisis		Membranas líquidas	
Tamizado	Biológicos		Ultrafiltración		Secado
			Hongos		Inmovilización de microorganismos
				Extracción líquido líquido con reacción química.	

Fuente: (Soccol et al., 2006)

Los procesos tecnológicos empleados en dicha investigación corresponden al acondicionamiento que se encarga de la materia prima (lavado, secado, molido y tamizado), pretratamientos físicos (reducción de tamaño), químicos (hidrólisis química, alcalina y organosolvente) y biológicos (hongos- *A.niger*), en la etapa de pretratamiento adquiere azúcares fermentables como son la glucosa y xilosa entretanto en la fermentación se produce la transformación de azúcares fermentables a ácido cítrico mediante microorganismos antes ya mencionado. En el proceso de fermentación (sumergida y

sólida) se utiliza la fermentación sólida debido a las ventajas que nos brinda por ejemplo la conservación de la energía de la biomasa, menor riesgo de contaminación microbiana y ambiental, bajos volúmenes del medio de humedad y requerimientos energéticos, alta productividad en su concentración mismos que ayudan a obtener un alto valor de ácido cítrico y yeso. En el proceso de separación (adsorción- absorción e intercambio, membranas líquidas, electrodiálisis, ultrafiltración, inmovilización de microorganismos y el proceso de nuestro interés es la extracción líquido-líquido con reacción química) y por último el proceso de purificación, estos procesos nos ayudan a la producción de ácido cítrico ya que es más rentable y económico.

Varios autores han demostrado que el ácido cítrico es producido comercialmente por fermentación microbiana de melaza. La técnica utilizada es la inoculación de microorganismo que se hace por medio de esporas. Este se añade al medio de fermentación obteniéndose un metabolito del metabolismo (Amenaghwon et al., 2013; Rosas Criollo & Terán Fuentes, 2015).

La tecnología usada para la obtención de ácido cítrico corresponde a la preparación de la materia prima, fermentación sumergida o en estado sólido, separación y purificación ver figura 3. El crecimiento de microorganismos en un material sólido con ausencia o casi ausencia de humedad libre; las diferentes materias primas a utilizar para la obtención de ácido cítrico son: trigo, arroz, yuca, plátano, miel. El material sólido, sirve como soporte y fuente de nutrientes. Dentro de las ventajas se destacan la alta productividad volumétrica, menor generación de efluentes y residuos, aprovechamiento de numerosos desperdicios agroindustriales menores costos de energía en los procesos (Oviedo, Casas, Valencia, & Zapata, 2014).

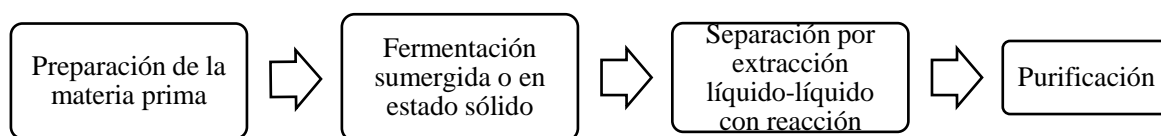


Figura 3. Diagrama de Bloque del Ácido Cítrico.

2.3.1 DIFERENTES MATERIAS PRIMAS.

El ácido cítrico se puede obtener a partir de frutos y derivados lácteos tales como, el suero de la leche, las mieles finales de la caña, bagazo de yuca, la cáscara del café, salvado de trigo, el limón, la naranja, el maíz, cáscara de manzana, cáscara de uva, la piña, la mandarina, la cerveza, kiwi y el bagazo de caña que será utilizado específicamente para la producción de ácido cítrico como materia prima principal debido a que en la Provincia de Pastaza no se le da ningún tipo de uso y a la disponibilidad que existe ver figura 4 (Pérez Navarro et al., 2016; Soccol et al., 2006).

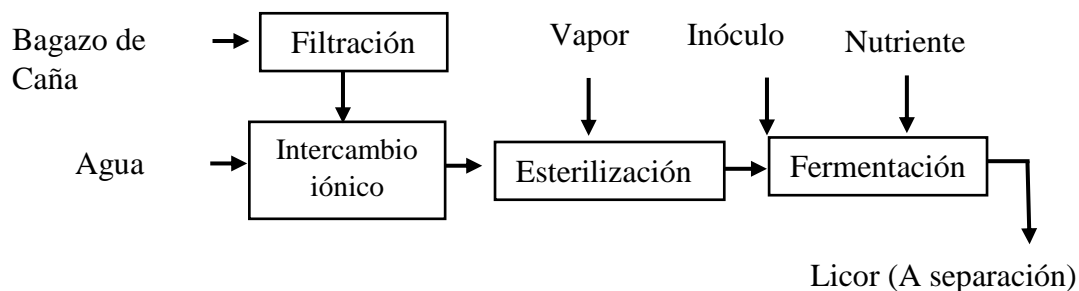


Figura 4 Proceso de obtención de ácido cítrico. **Fuente:** (Rivada Núñez, 2008).

2.3.2. FERMENTACIÓN.

La fermentación es un proceso biotecnológico aprovechado desde hace muchos años atrás, para la transformación de materias primas, con el propósito de elaborar y conservar alimentos. Cuando se habla de fermentación se entiende como la acción de microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) sobre varios sustratos biológicos, aprovechando la actividad metabólica, con el fin de alcanzar una transformación beneficiosa de las materias primas obteniendo alimentos procesados. Se utilizaron continuamente varias poblaciones de microorganismos en la región de origen, ocupándose en mejorar y controlar los procesos naturales con el fin de desarrollar métodos de producción de alimentos. En la actualidad se continúa aprovechando la acción de los microorganismos en procesos de la industria alimentaria, ya que se utilizan como aditivos mismo que permite dar un alto valor agregado (Ferrer, Machado, & Brieva, 2014).

2.3.2.1. FERMENTACIÓN SUMERGIDA.

Este tipo de fermentación se utiliza a gran escala la cual necesita de instalaciones sofisticadas y estrictas para su control. Tiene mayor productividad y rendimiento menor trabajo, riesgo de contaminación, consumo de mano de obra. Esta fermentación se puede encaminar en lotes alimentado por lotes o sistemas continuos, tomando en cuenta que el

modo de más utilizado es por lote se realiza en sistemas *batch* o *fedbatch*(Soccol et al., 2006).

DESVENTAJAS

- Su aplicación se limita a microorganismos que crecen en bajos contenidos de humedad.
- La extracción del calor metabólico pueden ser un problema, sobre todo cuando se trabaja a gran escala y no se controla el proceso.
- Los procesos de transferencia de masa son limitados por la difusión.
- Aspectos ingenieriles tales como el diseño de reactores, y escalado están muy poco caracterizados.
- El tiempo de fermentación es mayor debido a que generalmente se utilizan microorganismos con bajas velocidades específicas de crecimiento (León, 2008).

2.3.2.3. FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO.

Consiste en el desarrollo del microorganismos sobre partículas sólidas en ausencia de agua libre del sistema, esta extracción de calor metabólico se convierte en una dificultad cuando se trabaja a escala de producción, tomando en cuenta que la velocidad de crecimiento de los microorganismos, será menor en la fermentación sumergida y su aplicación será limitada a microorganismos, es decir en hongos donde se puede desarrollar en ambientes de baja humedad por este motivo se ha decidido utilizar este tipo de fermentación (Pérez Navarro et al., 2016). A criterio del autor el tipo de fermentación que se va a utilizar es en estado sólido.

(Ferrer et al., 2014) consideran como ventajas y desventajas los siguientes aspectos:

VENTAJAS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN SUSTRATO SÓLIDO

- Bajos costos de inversión y operación.
- La tecnología es simple y tiene menores requerimientos energéticos.
- Rendimientos de producción altos y reproducibles se obtienen cuando el proceso está ajustado correctamente.
- Se emplea sustrato concentrado, por lo tanto las cámaras de fermentación son de menor tamaño.
- No se requieren tanques de alimentación, y puede utilizarse la inoculación con esporas. Los bajos niveles de humedad disminuyen la aparición de contaminación del cultivo.

- Las condiciones de crecimiento de los hongos en el birreactor son muy similares a las condiciones de su habitat natural, lo que favorece su desarrollo y expresión genética. La aireación forzada en el reactor es más sencilla que para cultivos sumergidos.
- El downstream (operaciones de extracción y purificación del producto) es más simple. Permite el aprovechamiento de subproductos de la agroindustria para la obtención de compuestos de alto valor agregado.

PRINCIPALES DESVENTAJAS Y LIMITACIONES

- El proceso puede aplicarse solo con ciertos microorganismos debido a las condiciones de escasa disponibilidad de agua.
- El escalado de los procesos, de laboratorio a escala industrial, es difícil, principalmente porque la remoción del calor generado por el metabolismo de los microorganismos es una operación dificultosa.
- El control del proceso y la optimización de las condiciones en escala industrial deben continuar siendo investigadas, ya que muchos aspectos de la ingeniería del proceso aun son desconocidos.

A criterio del autor el tipo de fermentación que se va a utilizar es en estado sólido.

2.3.3. SEPARACIÓN.

La separación o precipitación se genera al añadir hidróxido de calcio o cal apagada para formar citrato de calcio. El citrato de calcio resultante es filtrado después se añade ácido sulfúrico para descomponer el citrato de calcio, formándose el sulfato de calcio es un subproducto del proceso y se retira por un filtro rotatorio al vacío (Max et al., 2010).

Procesos generados durante la formación del ácido cítrico después de la fermentación en estado sólido. El método de precipitación es realizado por la adición de óxido de calcio hidratado (leche de cal). Este se transforma en citrato de tricálcico tetra hidrato siendo soluble. El mismo es recuperado por filtrado tratado con ácido sulfúrico para la formación de sulfato de calcio (yeso) (Soccol et al., 2006).

La electrodiálisis es una técnica de separación electroquímica en donde las membranas se encuentran cargadas eléctricamente. Estas son utilizadas para separar especies iónicas de disoluciones acuosas. Este método se usa para la recuperación de ácido cítrico demostrando que este método mediante especies iónicas de caldos de fermentación clarificado es económico. Ver figura 5 (Soccol et al., 2006).

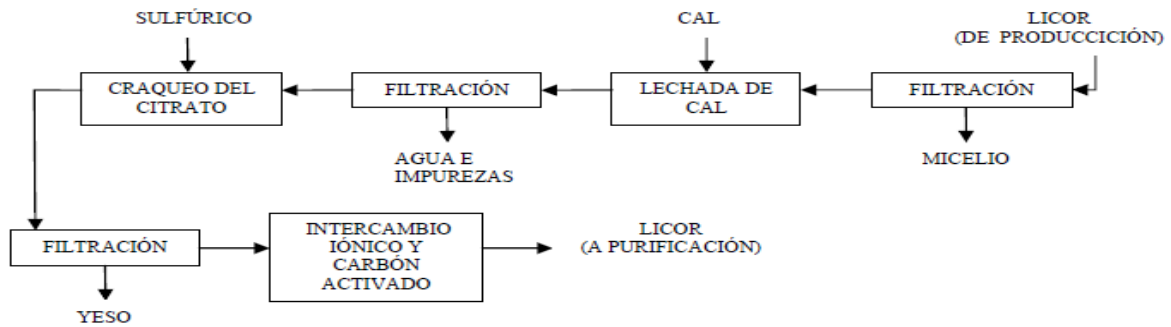


Figura 5 Separación del ácido cítrico. **Fuente:** Modificado de (Rivada Núñez, 2008)

2.3.4. PURIFICACIÓN.

La eliminación de impurezas se realiza con carbón activado o resinas de intercambio iónico permiten remover las impurezas solubles y sustancias orgánicas, los iones presentes en la solución son el Ca^{2+} y SO_4^{2-} , para la eliminación de la mayor cantidad de agua se usan evaporadores de doble o triple efecto que posterior al proceso de refinación se puede tratar con la resina del intercambio catiónico y eventual el carbón activo, se continúa con la cristalización del ácido cítrico y finalmente el secado o deshidratación ver figura 6 (Max et al., 2010).

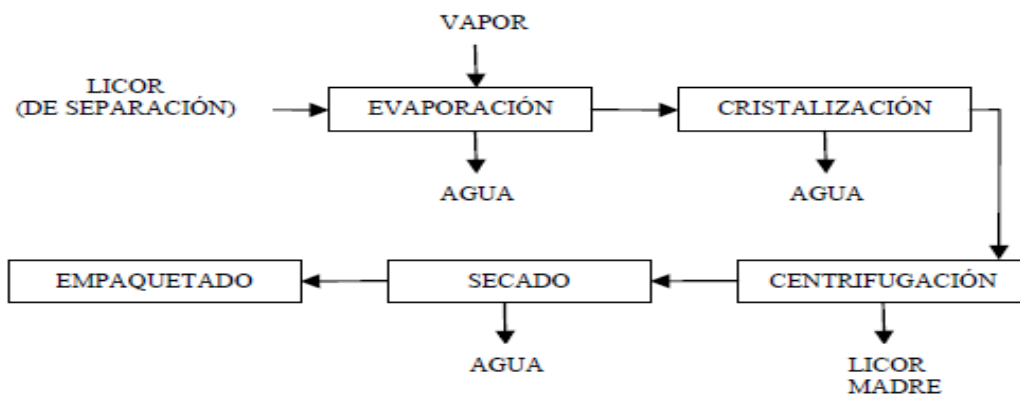


Figura 6 Purificación del ácido cítrico. **Fuente:** Modificado de (Rivada Núñez, 2008)

2.4. TECNOLOGÍA PARA PRODUCIR ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DEL BAGAZO DE CAÑA.

2.4.1. CARACTERIZACIÓN DEL BAGAZO COMO FUENTE DE MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO.

En el proceso de molienda se busca separar de los dos constituyentes principales de la caña de azúcar, el jugo de caña y la fibra (bagazo). La extracción del jugo se lleva a cabo mediante un solo paso del tallo en un trapiche artesanal con una eficiencia hasta el 66% (proporción de los azúcares totales extraídos) o en la molienda industrial al ser pasada por cuatro o cinco molinos y adicionándose agua de imbibición, se logra aumentar el grado de extracción de los azúcares hasta una proporción del 97 % (Campués Tulcán & Tarupí Rosero, 2011).

El bagazo es considerado como material lignocelulósico que está constituido de celulosa, hemicelulosa y lignina, que se obtiene de la extracción del jugo de la caña con un valor equivalente del 25 al 40%, tomando en cuenta estos valores varían por su fibra y eficiencia de la extracción del jugo (Pernalet, Piña, Suárez, Ferrer, & Aiello, 2008).

A continuación se puede visualizar en la figura 7 el bagazo de caña de azúcar como materia prima.



Figura 7 Bagazo de caña de Azúcar. **Fuente:** (Gutiérrez Solís, 2016)

Además contiene componentes considerados como materia extraña tales como, materia extraña mineral y vegetal. Es decir que la materia extraña mineral contiene silicio, magnesio, calcio, sodio, potasio, óxido de azufre, hierro y la vegetal está constituida por residuos que se obtiene de la cosecha como son las hojas secas o verdes los cogollos y cepas (Garcés Paz & Martínez Silva, 2016).

El bagazo de la caña de azúcar está compuesto por cuatro fracciones como: la fibra o bagazo con un 45%, del 2-3% de sólidos no solubles, sólidos solubles del 2-3% y con un 49-51% de agua que ayudan a la fabricación de la pulpa y papel (Aguilar Rivera, 2011).

DENSIDAD Y HUMEDAD

La densidad y humedad son características físicas importantes en el bagazo de caña ya que nos permiten realizar cálculos relacionados con los procesos de utilización industrial del mismo. La densidad en un bulto de bagazo mediante el bagazo suelto nos permite tener una referencia para el diseño de los equipos de transportación alimentadores entre otros. Por su composición el bagazo presenta una elevada tendencia para su libre compactación (Gálvez Taupier, 2000).

A continuación se puede visualizar en la Tabla 5. Los valores de la densidad en bultos del bagazo de caña de azúcar en varias condiciones de la industria de derivados que están en función de la humedad y grado de compactación (Gálvez Taupier, 2000).

Tabla 5 Densidad del bagazo de caña de azúcar en función de la humedad y la compactación.

Humedad (%)	Compactación o altura (m)	Densidad en bulto (kg^{-m^3})
9-10	Suelto	60
50	Suelto	70
75	Suelto	85
75	Compactado (h=10m)	150
75	Compactado (h=20m)	250

Fuente:(Gálvez Taupier, 2000)

2.3.1.2. CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICAS.

La estructura morfológica del bagazo se relaciona con la caña de azúcar en donde se encuentra las fibras de la corteza, haces fibrovasculares y distintas formas que brindan resistencia al tallo del vegetal a su vez el tejido parenquimatoso se designa como meollo o llamado también medula. Las características morfológicas del bagazo se lo clasifican como un material adecuado para ser utilizado como fibro-refuerzo como se puede apreciar en la tabla 6, acerca de las propiedades de la fibra del bagazo(Osorio Saraz, Varón Aristizabal, & Herrera Mejía, 2007).

CONTENIDO DE FIBRA Y MÉDULA.

Los distintos componentes morfológicos del bagazo de caña en base seca. Al asociar las fibras de la corteza y de las fibras cortas del interior del tallo en un solo fragmento se le designa como fibra o fibra útil, en la segunda fracción sobrante llamada médula y una tercera que aglutinan finos, tierra y los solubles dando a conocer a la suma de las últimas fracciones antes mencionadas con el nombre de médula o meollo. El contenido de fibra del

bagazo integral es de un 60% y de la médula es de un 30%. El 10% sobrante equivale a la tercera fracción antes mencionada(Gálvez Taupier, 2000).

Tabla 6. Propiedades de la Fibra del Bagazo de Caña

Especificaciones	Bagazo
Continuo/Disperso	Disperso
Orientación	Aleatoria
Matriz	Cemento
Longitud mm	26
Diámetro promedio(mm)	0.24
Gravedad específica (g/cm ³)	1.25
Absorción de humedad %	78.5
Contenido de humedad%	12.1
Resistencia última MPa	196.4
Módulo de elasticidad GPa	16.9
Resistencia a la adherencia MPa	0.84

Fuente:(Osorio Saraz et al., 2007)

2.3.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.

La composición del bagazo de caña de azúcar es la celulosa,hemicelulosa y la lignina es decir que son los principales polímeros naturales, tomando en cuenta que también existen en cantidades pequeñas compuestos conocidos también como componentes extraños mismo que se puede apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7. Composición química del bagazo de caña de azúcar.

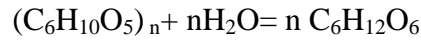
	Bagazo Integral	Fracción Fibra	Fracción Médula
Celulosa	46.6	47.7	41.2
Pentosanos	25.2	25.0	26.0
Lignina (Klason)	20.7	19.5	21.7

Fuente:(Gálvez Taupier, 2000)

CELULOSA

La celulosa analiza aproximadamente un tercio de la composición,misma que es biosintetizada durante el proceso de la fotosíntesis del vegetal fabricándose un gran número de celulosa anualmente en el mundo. La celulosa es un homopolisacárido natural (que quiere decir un solo tipo de compuesto monosacárido) que se compone de unidades de D-glucosa vinculadas por uniones de 1,4'-β-Dglicosídicos,produciendo un polímero lineal que se relaciona con un ordenamiento estructural en el cual los grupos hidroxilos originan fuertes uniones intramoleculares alcanzando propiedades cristalinas (López Martínez et al., 2016).

La celulosa está integrada por unidades de glucosa, que es alrededor de 7,000 a 15,000 unidades de polímeros de celulosa por lo tanto su transformación a monómero se representa de la siguiente fórmula química:



Además este polisacárido es insoluble al agua y contiene cientos inclusive miles de unidades de β -glucosa como se puede apreciar en la figura 8, es decir que la celulosa es la biomolécula orgánica excesiva que forma un pedazo de la biomasa terrestre (Cruz, Mendoza Martínez, Chávez Cinco, Rivera Armenta, & Cruz Gómez, 2011).

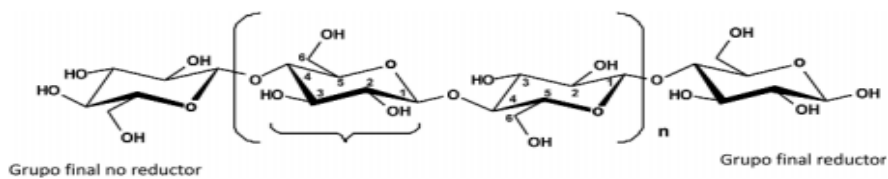


Figura 8 Estructura química de la celulosa. **Fuente:** (García García, Bordallo López, Dopico Ramírez, & Cordero Fernández, 2013)

✚ HEMICELULOSA

La hemicelulosa engloba al conjunto de polisacáridos distintos cuya estructura se caracteriza por: la solubilidad en sus solventes, la reactividad frente a los ácidos y su descomposición en los azúcares y el furfural. Estas características se diferencian metódicamente del resto de sus componentes químicos del bagazo de caña de azúcar ver figura 9. Existen hemicelulosas que proliferan en el bagazo tales como, D-xilanas las cadenas de polímeros son cortas su peso molecular tiene un promedio viscosimétrico que se encuentra en un rango de 10,000 a 20,000 y su proporción equivale de un 25 a 27% (Gálvez Taupier, 2000).

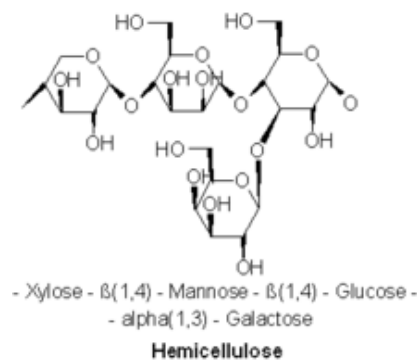


Figura 9 Estructura de la hemicelulosa del bagazo de caña. **Fuente:** (Fotoselmaenes., 2015)

✚ LIGNINA

La lignina es el tercer elemento más importante cuantitativo que oscila entre el 20 y 22% el cual representa un grupo de polímeros amorfos reticulares de elevados pesos moleculares y materia eminentemente fenólica (Durán Siles, 2007).

Además, es el polímero más complejo tridimensional globular discontinuo insoluble integrado por unidades de fenilpropano, cuyo enlace es parcialmente fácil de hidrolizar mediante vía química o enzimática. Estas moléculas se encuentran en diversas uniones aromáticas de fenilpropano por lo que no es posible especificar una estructura en concreto de la lignina, sin embargo se obtiene un modelo de representación de aproximación de dicha estructura como se muestra en la figura 10 (Durán Siles, 2007).

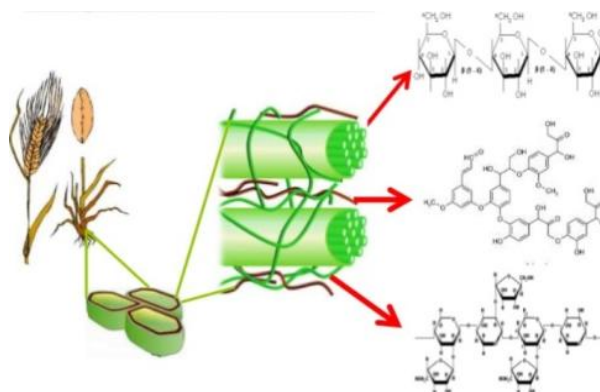


Figura 10 Estructura de la lignina del bagazo de caña de azúcar. **Fuente:** (Durán Siles, 2007)

2.3.1.4. CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA.

En las azucareras a nivel mundial el proceso y corte de la caña se la realiza por temporadas. El almacenamiento del bagazo de la caña de azúcar fabricado en épocas de zafra va a hacer utilizado para los diversos procedimientos continuos durante un año en las fábricas de pulpa y papel (Aguilar Rivera, 2011).

El almacenamiento del bagazo se fundamenta en almacenar este residuo agroindustrial durante un tiempo y espacio para ser utilizado en un momento determinado sin que sufra modificaciones en cuanto a la calidad esto se debe realizar teniendo en cuenta como parte importante que no exista costos elevados por lo que hay que ser cuidadosos en la molienda de la caña de azúcar. El bagazo con una humedad del 48-52% se lo considera como un sustrato rico para el crecimiento de microorganismos por lo que se generan reacciones combinadas debido a los cambios climáticos a consecuencia de eso se produce la generación del calor como se puede visualizar en la siguiente figura 11 (Roca Alarcón & 1993).

El deterioro del bagazo de caña de azúcar se produce de diferente manera, debido al contenido inicial en humedad, sacarosa, azúcares invertidos, proteínas residuales, minerales y a la diversidad de sus tejidos, que se debilita por el daño que sufre en la operación de la caña, estas condiciones benefician a la oxidación química ya que disminuye el brillo y pérdida de peso del bagazo almacenado con valores equivalentes del 20-30% en condiciones bajas de almacenamiento por lo que se produce afectaciones en la calidad de la fibra de la caña de azúcar (Aguilar Rivera, 2011).

Reacciones en una pila de bagazo almacenado	Calor generado (Cal/ gr Mol de Sacarosa)
$C_{12}H_{22}O_{11} + 12O_2 \rightarrow 12(CO_2) + 11(H_2O)$ Oxidación de la sacarosa	1348.2
$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \rightarrow 2(C_6H_{12}O_6)$ Sacarosa \rightarrow glucosa + fructosa	8.32
$2(C_6H_{12}O_6) + 6O_2 \rightarrow 6(CO_2) + 6(H_2O)$ Oxidación de la glucosa + fructosa	1339.88
$2(C_6H_{12}O_6) \rightarrow 4(C_2H_5OH) + 4(CO_2)$ Glucosa + fructosa \rightarrow etanol	33.16
$2(C_6H_{12}O_6) \rightarrow 4(CH_3CH(OH)COOH)$ Glucosa + fructosa \rightarrow ácido láctico	32.68
$4(C_2H_5OH) + 4O_2 \rightarrow 4CH_3COOH + 4H_2O$ Etanol \rightarrow ácido acético	470.64

Figura 11 Reacciones químicas que se producen en el almacenamiento del bagazo de caña de azúcar. **Fuente:** (Aguilar Rivera, 2011)

2.4.2. ACONDICIONAMIENTO DEL BAGAZO.

La etapa de acondicionamiento tiene como objetivo tener una materia prima de calidad e inocua, misma que permitirá realizar procesos de mejor manera, es decir que en la etapa de producción de ácido cítrico a partir del bagazo de caña de azúcar mismo que se obtiene a partir del proceso de molienda quedando como subproducto que será utilizado para producir ácido cítrico mediante procesos (Aguilar Rivera, 2011).

2.4.3. PRE TRATAMIENTO DEL BAGAZO.

En el tanque mezclador ingresamos el bagazo de caña molido y se adiciona el reactivo HCl 2N, con la finalidad de desarrollar la hidrólisis. Posterior a la hidrólisis se realiza el lavado del bagazo con agua destilada hasta obtener un lavado a pH neutro. El secado del bagazo se realiza en la estufa esterilizadora (Albernas Carvajal et al., 2015).

La filtración y el tratamiento de la materia prima con resinas de intercambio iónico. Con el objetivo de eliminar iones metálicos como el magnesio, el zinc, el hierro y sobre todo el manganeso que favorece la producción de ácido oxálico. La esterilización e inmisión en el

fermentador donde también se introduce el inóculo incubado apropiadamente. En esta área se pretende obtener el medio óptimo de crecimiento del hongo *Aspergillus* en parámetros óptimos de pH y temperatura (Albernas Carvajal et al., 2015).

2.4.3. FERMENTACIÓN.

2.3.3.1. MICROORGANISMO.

Existe una diversidad de microorganismos incluido hongos y bacterias tales como *Paraffinens Arthrobacter*, *Bacillus licheniformis* y *Corynebacterium* *ssp*, *Aspergillus Aculeatus*, *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus awamori*, *Aspergillus foetidus*, *Aspergillus fonsecaeus*, *Aspergillus phoenicis* y *Janthinellum Penicillium*; y levaduras tales

como *Candida tropicalis*, *Candida oleophila*, *Candida guilliermondii*, *Candida citroformans*, *Hansenula anomala*, *Yarrowialipolytica* y el microorganismo de interés para el presente estudio es *Aspergillus Niger* mismo que será detallado a continuación (Socol et al., 2006).

✚ **CULTIVO DE MICROORGANISMOS:** cultivos que crecen en dextrosa de patata sesgos de agar a 30 ° C durante 5 a 7 días.

✚ **LAVADO:** se lavó con Tween 80 esterilizada solución 0,8% agitando vigorosamente durante 1 minuto.

✚ **CONTEO:** se contó con un hemocitómetro para obtener información.

✚ **CARACTERIZACIÓN DEL ASPERGILLUS NIGER:**

El *Aspergillus Níger* es un hongo filamentoso que pertenece al grupo Deuteromycetes se caracterizan por su apariencia microscópica e imperfecta y se determina por su estructura esporífera llamadas también cabezas conidiales mismas que en su composición tienen una vesícula que está rodeada por una corona fiálides en forma de botella, que en su extremo cuenta con cadenas de esporas ver figura 12 (Rosas Criollo & Terán Fuentes, 2015).

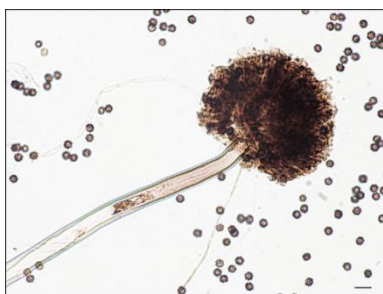


Figura 12 *Aspergillus Níger*. Fuente: (Québec., 2016)

El *A.niger* posee un micelio lanoso de color blanco amarillento que cambia a negro posee conidióforos largos y lisos filídes biseriadas que envuelven totalmente la vesícula. Ver figura 13. Este hongo se desarrolla rápidamente en sustratos artificiales produciéndose colonias que consisten en un fieltro basal blanco o amarillo envuelto por una capa densa de conidios de color castaño oscuro o también negro, el conidio esporas son característicos de 900 - 1600 μm de longitud con paredes lisas que finalizan en las vesículas globosas que tiene color café pálido de 40 - 60 μm de diámetro (Rosas Criollo & Terán Fuentes, 2015).

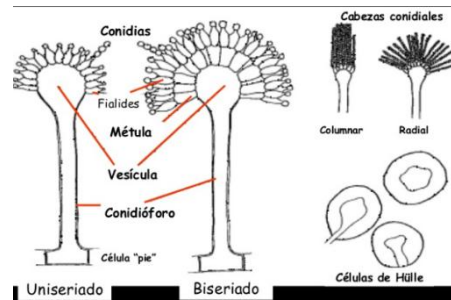


Figura 13 Morfología del género *A.niger*. Fuente. (Alcala, Muñoz, Pelaez, & Bouza, 1992)

2.4.3.2. PREPARACIÓN DEL MEDIO DE CULTIVO.

A continuación se detalla el procedimiento del medio de cultivo e inoculación (Sánchez Toro, Ortiz Buriticá, & Betancourt Garcés, 2004).

- ✚ **MEDIO DE CULTIVO:** En un matraz Erlenmeyer de 250ml con un tamaño de partícula de bagazo de 1.2 a 1.6mm. Se adicionó fosfato diácido de amonio ((NH₄)H₂PO₄) en relación de 48 mg/kg, el pH se ajustó a 4 utilizando ácido clorhídrico (HCl) 0.1N. A continuación se esterilizó a 121 °C por 15 min.
- ✚ **INOCULACIÓN:** Se realiza en estado sólido con 0,5 ml del inóculo de concentración de 2×10^7 esporas / ml y después se incubaron a 30 °C

2.4.4. SEPARACIÓN.

Este sólido que contiene ácido cítrico hay que lavarlo, filtrarlo, añadirle hidróxido de calcio para que se forme el citrato-tricálcico esto ayuda a su floculación es decir que se forma un sólido, a este sólido se lo filtra y se le pone en contacto con ácido sulfúrico y resultado de esto se obtiene el yeso la cual se precipita formando el yeso (sulfato de calcio) la cual se obtiene una corriente líquida que contiene ácido cítrico (Soccol et al., 2006).

La etapa de separación se caracteriza por la formación de yeso por la adición de citrato de calcio que precipita el yeso y la formación del ácido orgánico. La solución de las aguas madres se tratan con carbón activo permitiendo el intercambio iónico, posterior la etapa de

cristalización que concentra al vacío a 20-25°C. Formando mono hidrato de ácido cítrico a temperatura superior a 36,5°C (Pérez Navarro et al., 2016).

Obteniendo dos desechos que a través de técnicas de precipitación el uno contiene residuo de proteínas, aminoácidos, pigmento etc. y el otro sulfato de calcio. La primera puede ser secada y empleada como forraje y el segundo útil a fábricas de cementos (Soccol et al., 2006).

Existen diversos tipos de separación:

ADSORCIÓN ABSORCIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO

El azúcar cristalino de las materias primas puras se usa para la producción de ácido cítrico. Este método se utiliza como un paso en la aplicación de la tecnología utilizándolo como un proceso de recuperación del citrato, el cual implica la adsorción de contaminantes en una resina no iónica que consiste en el poliestireno o poliacrilato y recolección del ácido cítrico que se expulsa. La desventaja de este método es que el intercambio de los iones de elución del ácido cítrico del lecho de adsorción requiere de una elevada cantidad de desorbente produce una dilución importante del cítrico resultante. Además en una fuente de residuos efluentes no deseados (Moltó Marín 2014).

MEMBRANAS LÍQUIDAS

Se desarrollan en métodos sofisticados para la separación del ácido cítrico mediante la aplicación de membranas líquidas. Estas membranas tienen operadores móviles el cual se basa en materiales inertes micro-poroso con un apoyo impregnado contando con un agente de intercambio iónico inmisible en agua. Para la separación del ácido cítrico mediante membranas líquidas, también se pueden usar aminas terciarias el cual nos permite obtener deseables resultados en la extracción de disolvente. En la etapa de extracción la amina básica reacciona con iones de hidrógeno en la disolución de alimentación para poder formar el catión alquilamonio terciario, mismo que se incorpora por medio de la membrana y se obtiene una disolución. Las ventajas que ofrece este proceso es que se pueden producir una reducción de costos generales referente a la recuperación y cantidad de residuos (Pérez Ávila, 2014).

ELECTRODIÁLISIS

Es una alternativa ecológica convencional que permite la recuperación del ácido cítrico. Estos procesos posibilitan la separación de sales de una disolución y conversión simultánea en ácidos y bases utilizando potenciales eléctricos y membranas mono o bipolares. La

transformación del tri-citrato de sodio del ácido cítrico mediante una célula de cuatro compartimientos se logra de manera más rápida para la tensión de los electrodos se necesita una mayor celda de tres cámaras. Una de las ventajas de este proceso permite la recuperación de ácido cítrico excluyendo la etapa de evaporación que se requiere normalmente. Es posible aplicar esta técnica para la recuperación de ácido cítrico mediante procesos continuos en la etapa de fermentación (Judson King, 1979).

ULTRAFILTRACIÓN

En la etapa de ultrafiltración la disolución del ácido cítrico diluido se consigue en la primera etapa del mismo después de la fermentación con una concentración del 20 % mediante el uso de ósmosis inversa. Mediante estos procesos de membrana se pueden obtener beneficios para las industrias tales como, el consumo de energía baja no existe residuos en comparación con los métodos químicos convencionales, posibilita el uso de procesos continuos (Pérez Ávila, 2014).

EXTRACCIÓN LÍQUIDO CON REACCIÓN QUÍMICA

Esta extracción se realiza mediante dos líquidos inmiscibles usando un embudo de decantación. Existen dos fases líquidas tales como:

- a) Fase acuosa: agua o disolución acuosa
- b) Fase orgánica: disolución o disolvente orgánico inmiscible con el agua (Moltó Marín 2014).

2.3.3. PURIFICACIÓN.

Este ácido cítrico se pone en presencia de cristales de ácido cítrico y ocurre el proceso de cristalización, donde los granos de ácido cítrico crecen alrededor de la muestra depositada inicialmente, por último se extrae el ácido cítrico por el método de centrifugación (Soccol et al., 2006).

2.4. MARCO REFERENCIAL.

La productividad de los ácidos orgánicos mediante la utilización de microorganismos establece una fuerza motriz de importancia en el estudio de la regulación metabólica mismo que permite el adelanto de la biotecnología. ScheelsKarls en 1874 por primera vez aisló el ácido cítrico en Inglaterra, por medio del jugo de limón importado desde Italia, por empresarios italianos quienes tenían el acaparamiento por su productividad casi 100 años mismo que fue vendido a un costo alto. Esto incentivo a todo el mundo a realizar esfuerzos para encontrar la manera de producir ácido cítrico, incluyendo tecnología química y microbiana (Muñoz Villa et al., 2014).

Sin embargo, los experimentos industriales no tuvieron éxito debido a los enigmas de contaminación y de larga duración en la fermentación. El proceso industrial se abrió por primera vez por James Currie en 1917, quien descubrió que el *Aspergillus Níger* tenía la capacidad de fabricar cantidades relevantes de ácido cítrico en medio a base de azúcar (Muñoz Villa et al., 2014).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1. LOCALIZACIÓN.

Esta investigación se desarrolló en la Universidad Estatal Amazónica ubicado en el Km 2 ½ vía Puyo a Tena (Paso Lateral) en la ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza, con una superficie de 19.774 km² se localiza en la parte central de la RAE, que limita al Norte con Napo, al Sur con Morona Santiago, al Este con Perú y al Oeste con Tungurahua y Morona Santiago, con una temperatura aproximadamente de 25°C y una humedad relativa de 87.83 % .A continuación se muestra en la tabla 8 la determinación de la Provincia de Pastaza (Asocap, 2010).

Tabla 8 . Determinación de la Provincia de Pastaza

División Político-Administrativo	4 cantones: Pastaza Mera Santa ClaraArajuno. Pastaza: Puyo Tarqui Veracruz Canelos Pomona Simón BolívarTnte. Hugo Ortiz 10 de agosto El Triunfo FátimaSarayacu Montalvo Río Corrientes y Río Tigre. (Parroquias) Mera: Mera Madre Tierra y Shell (Parroquias) Santa Clara: Santa Clara (Parroquia) Arajuno: Arajuno y Curaray (Parroquias)
Población Total:	83.933 habitantes (Censo, 2010)

Fuente: (Asocap, 2010)

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

En esta investigación se utilizarán datos a nivel mundial, del Ecuador y de Pastaza relacionado con la utilización de residuos agroindustriales (bagazo de caña), en donde se aplicará una serie de pasos para poder obtener la simulación del proceso de producción de ácido cítrico mismo que ayudará a generar nuevos ingresos económicos y fuentes de empleo.

El carácter del estudio será cuantitativo ya que se debe identificar la cantidad de materia prima es decir de bagazo de caña y equipos se va a utilizar para la producción de ácido cítrico, a partir de ellos se debe identificar los problemas ambientales y económicos que se van a generar para evaluar la posibilidad de producción e implementar mejoras en el proceso.

El alcance exploratorio- descriptivo. Esta investigación no posee precedentes de haberse realizado en Ecuador específicamente en la Provincia de Pastaza la implementación de simuladores de procesos de producción de ácido cítrico mismo que

puede ayudar a la aplicación de nuevas opciones para el aprovechamiento del bagazo de caña como materia prima principal que se obtienen en las paneleras.

En esta investigación se detallan las características definidas para el proceso de producción de ácido cítrico, en donde se va a obtener información de la cantidad de bagazo de caña de azúcar que se va a usar para la producción. El tipo de pretratamiento, fermentación mismos que se utilizarán para realizar el análisis económico de factibilidad mediante los resultados obtenidos, los cuales nos permitirán describir las condiciones de desarrollo de los residuos y la aplicación de nuevas tecnologías.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

Mediante el método de análisis nos permitió la selección de la información más sobresaliente de las investigaciones realizadas a partir de diferentes autores con una lectura precedente para de esta manera realizar una síntesis y verificar los puntos de interés que nos ayudarán como referencia y orientación para el desarrollo del proyecto de investigación a partir de la síntesis y elaboración de las simulaciones se procede a comparar los resultados que nos permitirán especificar la cantidad de materia prima necesaria y aplicación de las tecnologías para mantener un punto de equilibrio óptimo antes durante y después del proceso de producción de ácido cítrico.

Nuestro propósito de estudio son los objetivos específicos que compone la parte del cuerpo de la investigación misma que ayudará a la recopilación de los resultados obtenidos de investigaciones ejecutadas para la producción de ácido cítrico a partir de los residuos del bagazo de la caña de azúcar conforme a su composición, productividad y coste estimado a través de la recolección de información y análisis que se presentan en la simulación.

3.4. FUENTES DE RECOPIACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La recopilación de datos e información fueron indispensables para el estudio, mismas se adquirieron a partir de investigaciones ya realizadas por diferentes autores. Estas investigaciones se obtienen a través de artículos científicos, patentes, expedientes, libros, tesis, páginas web, normativas, bases de datos, fuentes estadísticas, etc.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.5.1. METODOLOGÍA APLICADA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO.

El diseño de la investigación se asocia con la metodología que se seleccionó en la simulación del proceso de producción del ácido cítrico a partir del bagazo. El simulador *Supero Pro Designernos* permitió especificar las etapas de selección de la materia prima, separación, purificación, fermentación, cristalización, secado y empaquetado del producto.

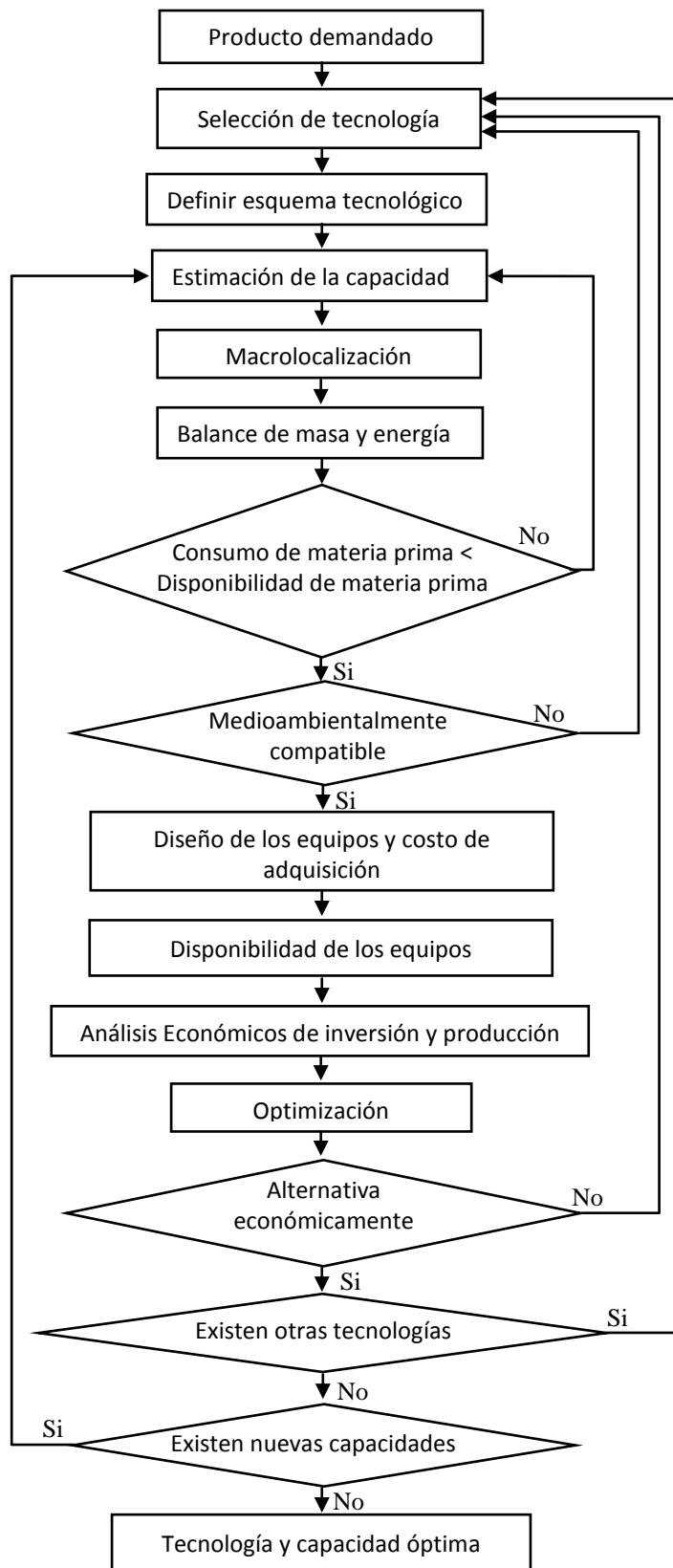


Figura 14 Procedimiento secuencial para el diseño de proceso. **Fuente:**(Pérez Martínez et al., 2012)

Este diseño nos permite seleccionar distintas alternativas para poder cumplir con los objetivos propuestos. En la figura 14 se puede apreciar el método secuencial del diseño

planteado por (Pérez Martínez et al., 2012). Este análisis nos permitió incorporar los aspectos técnicos, ambientales y económicos que permite la operación cualitativamente superior. Este método se compone de 16 pasos en donde cinco de ellos integran la toma de decisiones.

3.6. INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

Los instrumentos de investigación que se utilizaron son *SuperPro Designer* y *el Endnote* estos programas nos permiten alcanzar nuestros propósitos, es decir que nos ayudan al proceso de simulación de una planta de producción de ácido cítrico a partir del bagazo de caña de azúcar resaltando que el *SuperPro Designer* es un software que se lo maneja a nivel mundial en diferentes industrias porque permite realizar procesos, estudios económicos, elaborar bases de datos, compuestos químicos, materiales y equipamiento mismo que anticipadamente fue instalado en un computador para poder lograr el diseño y edificar los modelos que nos llevan a palpar la realidad de los procesos.

3.7. TRATAMIENTO DE LOS DATOS.

El programa *SuperPro Designer*, nos permite la interpretación virtual de: productos, subproductos, la evaluación del crecimiento económico ambiental y los balances de masa y energía, mediante la simulación del proceso tecnológico se puede lograr llegar a la producción de ácido cítrico a partir del bagazo de caña de el cual nos permite la construcción de modelos de acuerdo con la capacidad del equipamiento e infraestructura y reservas de materia prima.

3.8. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.

3.8.1. RECURSOS HUMANOS.

Los recursos humanos para el desarrollo de la presente investigación se pueden apreciar en la tabla 9.

Tabla 9 Recursos Humanos del Proyecto de Investigación del Ácido Cítrico

Recursos Humanos empleados	Cantidad
Director del proyecto de investigación	2

Fuente:Elaboración Propia.

3.8.2. RECURSOS MATERIALES.

Los recursos humanos para el desarrollo de la presente investigación se pueden apreciar en la tabla 10.

Tabla 10 Materiales usados en el Proyecto de Investigación

Materiales	Cantidad
Computadora	1
Laptop	1
Cuaderno	1
Esfero	3

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. DISEÑO DE PROCESOS.

4.1.1. PRODUCTO DEMANDADO.

En la actualidad China y en menor cantidad Canadá dominan la productividad mundial de ácido cítrico. Estos países abarcan un 40% a 50% del mercado debido a sus precios bajos comparado con otras empresas europeas y estadounidenses, el resto del mercado se encuentra subyugado por compañías ADM DMS Nutricional ProductosTate&Lyle, Jungbunzlauer y Cargill ya que no pueden combatir en precio, mano de obra por su alto valor de energía y materia prima por sus malas cosechas, el uso de biodiesel como otra alternativa empieza a escasear (Rivada Núñez, 2008).

Ademas este mismo autor señala que en los años 2007 y 2008 por presiones que existen en el mercado como consecuencia cinco plantas de Europa y América se cerraron, mientras que en China y Canadá se crearon tres plantas. En la actualidad en Estados Unidos y la Unión Europea por medio de investigaciones mencionan que la competitividad con China es desleal ya que su producción vende a bajo costo para poder desfalcarse a sus competidores. La demanda de ácido cítrico asciende aproximadamente en un 7% anual, con una producción de 600.000 toneladas al año con un monto de más de dos billones de dólares en el mercado, ya que China ha incrementado su calidad y seguridad de sus productos en el mundo.

4.1.2. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA.

La tecnología aplicada en la producción de ácido cítrico consiste en procesos primordiales con respecto al acondicionamiento, pretratamiento, fermentación, preparación del medio de cultivo, separación y purificación, mismos que se emplean a distintas materias primas tales como, suero de la leche, las mieles finales de la caña, bagazo de yuca, la cascará del café, salvado de trigo, el limón, la naranja, el maíz, cáscara de manzana, cáscara de uva, la piña, la mandarina, la cerveza, kiwi y el bagazo de caña mismo que es de nuestro interés ver figura 15.

Las etapas que se usan para la producción de ácido cítrico tales como, separación (extracción líquido líquido con reacción química), purificación, filtración, precipitación cristalización, y secado son complicadas y con un alto valor.

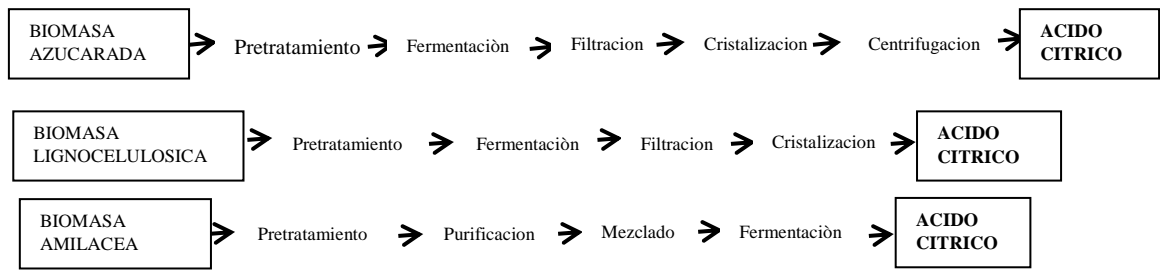


Figura 15 Fuentes de Obtención de Ácido Cítrico. **Fuente.** Elaboración Propia.

Las materias primas que se utilizan son bagazo hidrolizado, celulosa, xilosa, agua, nutrientes, y el microorganismo de importancia *A. niger* mismo que ayudará a la producción de ácido cítrico y las corrientes de residuos sólidos como es el yeso, que se utiliza en la medicina (para elaborar vendas y fabricar moldes quirúrgicos), construcción (sirve como agente retardante en la producción de cemento), agricultura (como abono y desalinizador), industria de alimentos (tratamientos de agua, refinación de azúcar, limpieza de vinos, vegetales enlatados). Se adquiere de una fuente rica de nutrientes y el microorganismo se puede utilizar como alimento animal. De las corrientes de residuos se produce CO₂, biomasa, agua recuperada, yeso, azúcares fermentables, aire con agua, como se puede visualizar en la figura 16.

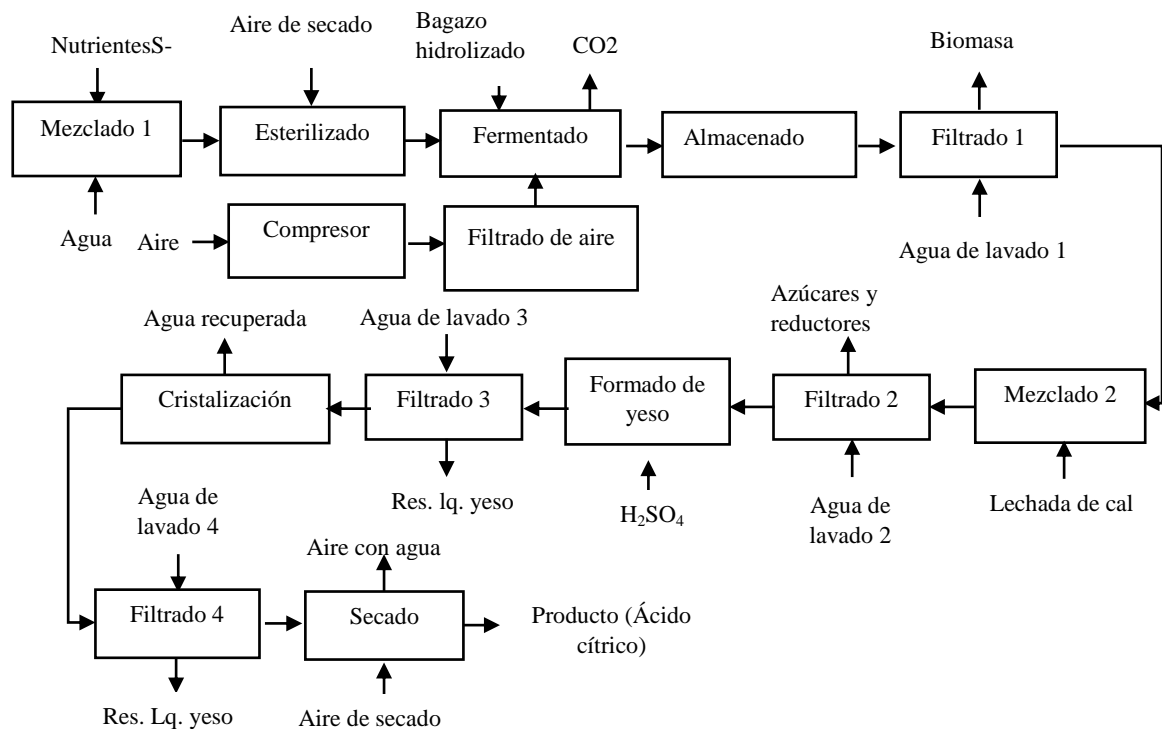


Figura 16 Diagrama de Bloque para la producción de ácido cítrico. **Fuente:** Elaboración Propia.

4.1.3. DEFINIR EL ESQUEMA TECNOLÓGICO.

4.1.3.1. ACONDICIONAMIENTO DEL BAGAZO.

El acondicionamiento en dependencia de la materia prima que se va a utilizar consiste en el proceso de recolección de la materia en este caso bagazo de caña mismo que será lavado con agua destilada para obtener un lavado neutro, en donde se eliminará materiales innecesarios tales como tierra, agentes biológicos para luego ser secado por estufa, posterior a esto se procede a la etapa de molinado y tamizado, en un molino de martillos realizando una reducción de tamaño de partícula del bagazo de caña con un tamaño equivalente a 1.2 a 1.6 mm. Ver figura 17(Soccol et al., 2006).

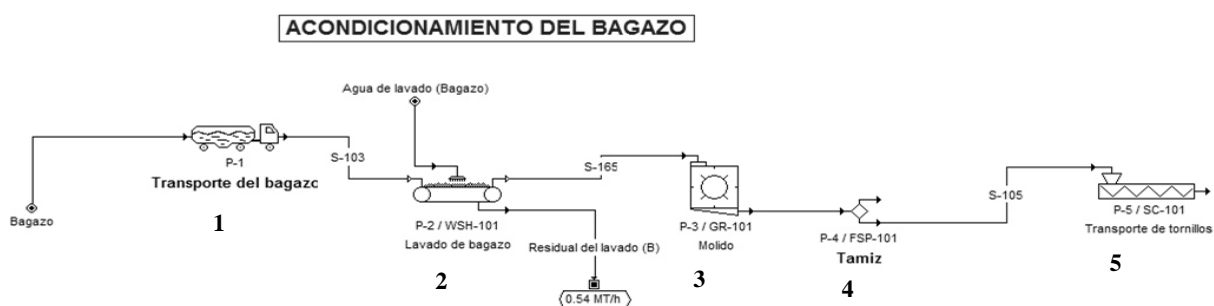


Figura 17 Acondicionamiento del bagazo de caña de azúcar. **Fuente.** Elaboración Propia.

1. Transporte de bagazo,
2. Lavadora (Flujo masivo),
3. Trituradora,
4. Mezclador,
5. Transporte de tornillos.

4.1.3.2. PRETRATAMIENTO DEL BAGAZO.

Las partículas que se escogen pasan por un proceso de pretratamiento en los que se aplica las siguientes hidrólisis ácida, básica y enzimática para pasar al siguiente proceso que corresponde al filtrado. En esta etapa se separa el citrato cálcico que se produce por la lechada de cal del resto del licor en donde se utilizará un filtro de tambor rotatorio al vacío el cual ayudará a separar el citrato precipitado en forma de torta el cual genera residuos del licor compuesto por agua, nutrientes, restos del proceso de la fermentación, ácido cítrico e hidróxido de calcio sin reaccionar. De estos procesos se obtiene furfural el cual es producto de la hidrólisis ácida que corresponde a la lignina y azúcares fermentables que son la glucosa y xilosa, los cuales son productos de las hidrólisis básica y enzimática de la celulosa y hemicelulosa, ver figura 18. El bagazo de la caña de azúcar hidrolizado se traslada a la siguiente etapa (Aguilar Rivera, 2011).

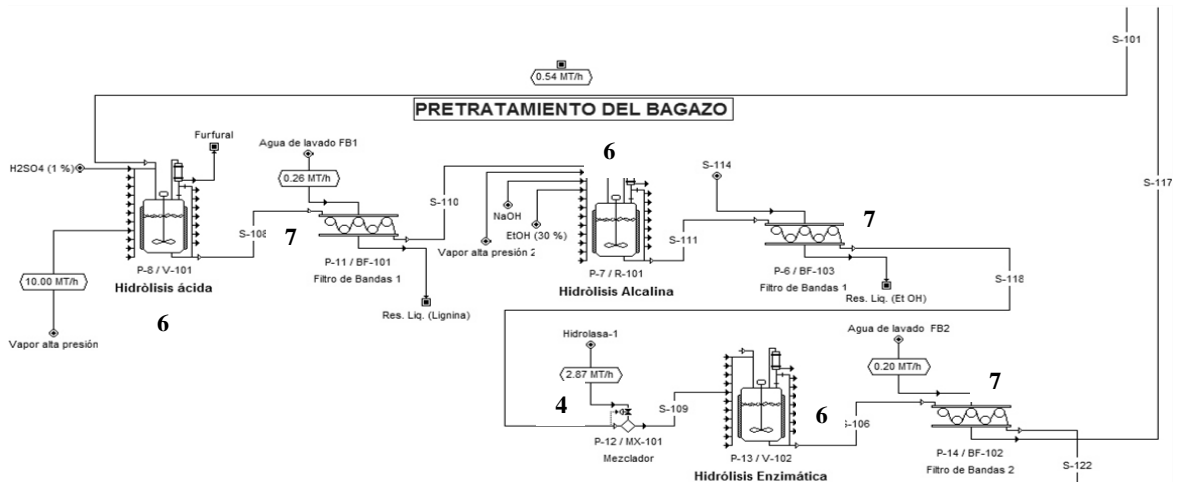


Figura 18Pretratamiento del bagazo de caña de azúcar. **Fuente.** Elaboración Propia

4. Mezclador, 6.Reactor, 7.Filtro de bandas

4.1.3.3. PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO.

La corriente del bagazo hidrolizado que se adquiere en la etapa antes ya mencionada contiene azúcares fermentables como son la xilosa, glucosa y agua los cuales pasan a una etapa de mezclado consecutivamente de la de pre-fermentación con adición de aire por medio de un compresor, de este procedimiento se obtiene un sustrato apto para la fermentación total de los azúcares y un excedente de CO₂ (Max et al., 2010).

Soccol et al., (2006) señala que luego de la etapa de fermentación en estado sólido los azúcares en donde se va a producir ácido cítrico mediante el crecimiento microorganismos *A. niger* donde va a influir factores tales como temperatura, agitación, concentración de oxígeno, nutrientes y pH que son las de mayor interés. Posteriormente se realiza el proceso de separación mediante el método de extracción líquido líquido con reacción química y por último el proceso de purificación que consiste en la disolución del ácido cítrico la cual abandona la columna de intercambio iónico y carbón activado y finalmente pasar a la cristalización obteniendo ácido cítrico ver figura 19.

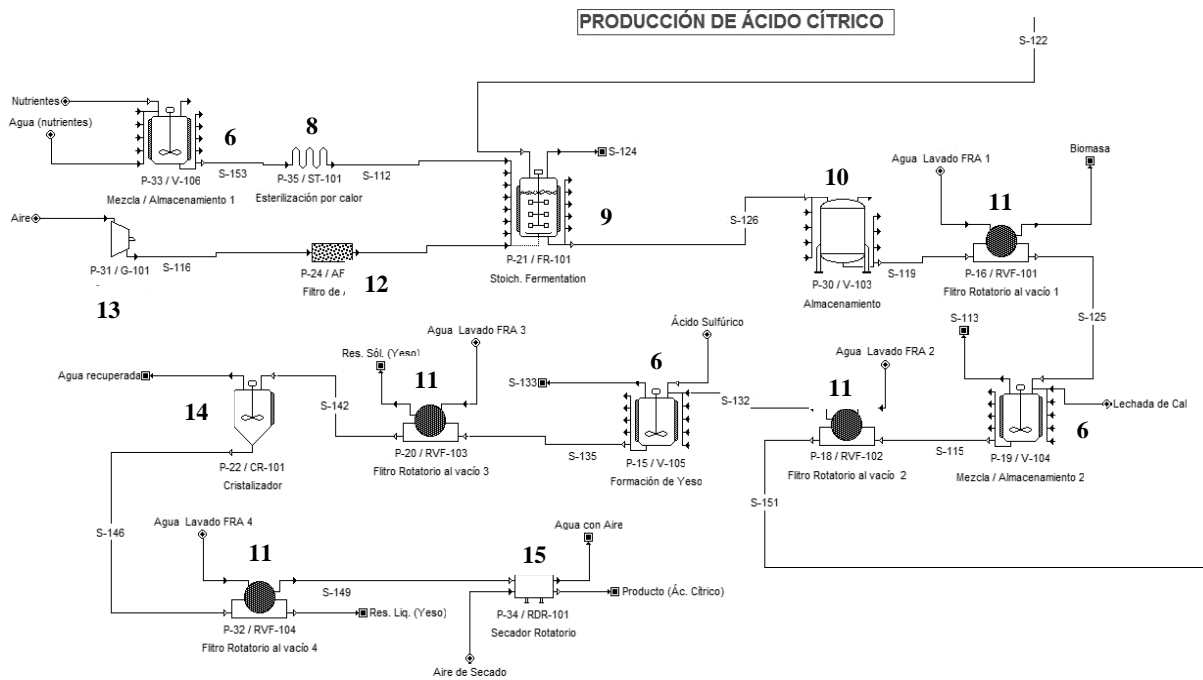


Figura 19. Producción de ácido cítrico. **Fuente:** Elaboración Propia

6.Reactor, 8.Esterilizador por calor, 9.Fermentador,10.Tanque de almacenamiento, 11.Filtro Rotatorio al vacío, 12.Filtro de Aire,13.Compresor, 14.Cristalizador,15.Secador rotatorio.

4.1.4. ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD

(Rivada Núñez, 2008) la demanda de ácido cítrico asciende aproximadamente en un 7% anual con una producción de 600.000 toneladas al año con un monto de más de dos billones de dólares en el mercado ya que por 137,6 g/kg de bagazo de caña seca se obtiene un rendimiento del 96% de ácido cítrico.En la Figura 20 y 21. Se puede observar los países y las cantidades de donde importa acido cítrico Ecuador.



Figura 20 Perspectivas para una diversificación de países proveedores para un producto importado por Ecuador en 2016. **Fuente:** (Trademap, 2017b)

Ecuador importa desde China el 54,83% de ácido cítrico con un crecimiento anual de exportaciones equivalente al 1% y una cuota mundial de 35,15% es decir que el crecimiento de las exportaciones mundiales para China es mayor que el crecimiento de las importaciones de Ecuador (Trademap, 2017b).

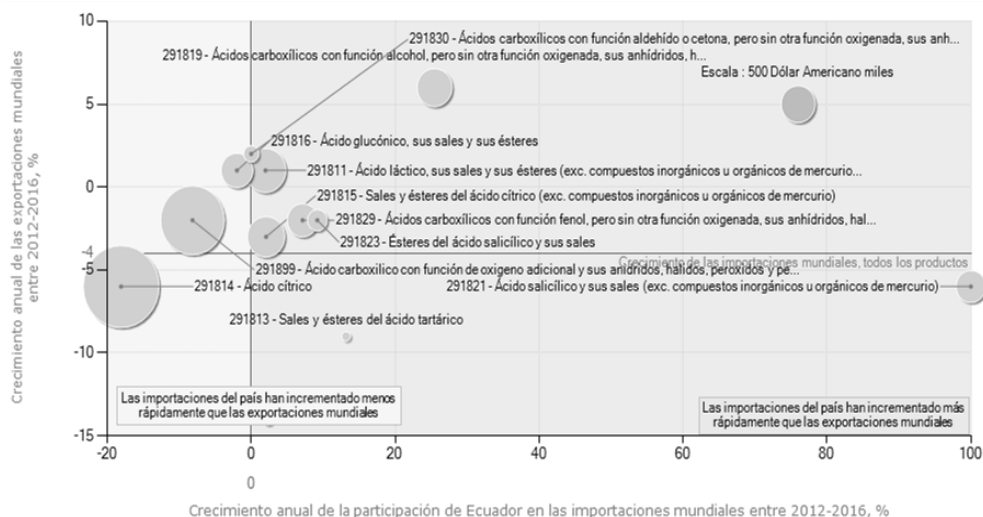


Figura 21. Crecimiento de la demanda nacional y de la oferta internacional para los productos importados por Ecuador en 2016. **Fuente:** (Trademap, 2017a).

4.1.5. MACRO LOCALIZACIÓN

La macro localización de la industria, posibilita la disponibilidad del bagazo de caña de azúcar procedente de las parroquias Tarquí, San José, Fátima, Puyo que representan la mayor producción de caña. Las parroquias de las Américas, Tarquí y Puyo producen aguardiente y panela. A continuación se define el área sembrada de caña correspondiente a cada una de las parroquias antes mencionadas ver tabla 11 (GADPPz, 2012).

Tabla 11 Disponibilidad de bagazo de caña de azúcar

Sectores	Producción de caña (ha)	Producción de Bagazo (t)
Tarquí	198.75	26 t/día
Veracruz	131.35	17 t/día
San José	91.9	12 t/día
Fátima	80.35	10 t/día

Fuente: (GADPPz, 2012)

Para estimar la capacidad de producción del bagazo de caña de azúcar mediante un cálculo matemático que se presenta en la ecuación 1, el mismo que se realizó en función a la disponibilidad existente en la provincia de Pastaza sobre la cantidad que produce diariamente para de esta manera poder alcanzar la producción óptima de ácido cítrico.

Datos:

Producción de caña de azúcar (PC): 4500 ha

% de cultivo de caña de azúcar útil (CCU): 90%

Rendimiento estimado de caña (RC): 55 t/ha

% destinado para la producción de panela y aguardiente (PPA): 70 %

% de bagazo extraído de la molienda de caña (BE): 42 %

Días del año (d): 365 días

¿Cantidad de bagazo tentativo de producción diaria (CBPD): ?

Solución:

Ecuación 1. Estimación de la capacidad de bagazo de caña.

$$CBPD = \frac{PC * CCU * RC * PPA * BE}{d}$$

$$CBPD = \frac{4\,500 \text{ ha} * 0.90 * 55 * 0.70 * 0.42}{365 \text{ d}} = 179,42 \text{ t/d.}$$

La provincia de Pastaza tiene una disponibilidad de 179,42 toneladas por día de bagazo de caña de azúcar siendo una cantidad representativa para su aprovechamiento en la producción de ácido cítrico.

4.1.6. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

Se desarrolló para cada uno de los equipos y maquinarias los balances de masa y energía mismos influyen en cada uno de los procesos tecnológicos para la producción de ácido cítrico. Respecto a los flujos y composiciones que se pueden apreciar en los (Anexo 1, 2 y 3) se determina para cada una de las etapas que constituyen el proceso. Sin embargo, se analizaron dichos factores mismos que se pueden apreciar en la tabla 12, respecto a los indicadores medioambientales (llamados así porque se extraen del medio ambiente), con distintas capacidades tales como 36t, 54t, 63t, 72 y 108t correspondientes a las toneladas de bagazo diarios.

Tabla 12 Indicadores ambientales.

INDICADORES AMBIENTALES						
Unidad	Material a granel	36	54	63	72	108
kg/kg de producto	H ₂ SO ₄ (10% w/w)	11 8540885	17 7811328	20 7446549	23 708177	29 6352213
kg/kg de producto	HP Vapor	0 19327318	2 89909773	33 8228069	0 38654636	0 57981955
kg/kg de producto	Hidrolasa	0 00073925	0 1108874	0 12936874	0 14785008	0 18492599
kg/kg de producto	Agua	30 2495306	45 374296	52 9366786	60 4990613	75 6296834
kg/kg de producto	Bagazo	7 73092729	11 5963909	13 5291228	15 4618546	19 3273182
kg/kg de producto	Nitrógeno	0 0002577	0 00038655	0 00045097	0 0005154	0 00064424
kg/kg de producto	Oxígeno	6 4424E-05	0 00096637	0 01127427	0 00012885	0 00161061
kg/kg de producto	Amm. Sulfato	0 51484462	0 77226693	0 90097775	1 02968923	1 28711089
kg/kg de producto	Nutrientes	3 13587105	4 70380657	5 48777466	6 27174209	7 83967827
kg/kg de producto	Ca Hidróxido	0 84327302	1 2649092	1 47572795	1 68654604	2 10818222
kg/kg de producto	Aire	8 89613226	13 3441981	15 5682316	17 7922645	22 241883
kg/kg de producto	RO Agua	1 19673193	1 79542327	2 09411818	2 39346385	2 98759993
kg/kg de producto	EtOH (30% w/w)	0 04329319	0 06493979	0 75763087	0 86586386	1 73172771
kg/kg de producto	NaOH (3% w/w)	0 04329319	0 06493979	0 75763087	0 86586386	1 73172771
Costo de utilidades						
kW-h	Energía estándar	0 20140823	0 30211266	0 35246456	0 00018937	0 50355994
kg/kg de producto	Vapor	7 91508995	11 8729603	13 8512447	0	19 7880503
kg/kg de producto	Agua de refrigeración	413 991156	620 986734	724 484849	1 39846488	1034 97854
kg/kg de producto	Agua fría	108 491981	162 738622	189 861292	32485 2179	271 230604
Categoría de residuos						
Residuo Sólido						
kg/kg de producto	Ceniza	094358961	141863817	165941621	189368673	236222778
Líquido Acuoso						
kg/kg de producto	Residual del lavado(B)	0 69890706	1 04901135	1 22341274	1 39846488	1 74791841
kg/kg de producto	Res.Liq. (lignina)	16 2426086	24 3639132	28 4245652	32 4852179	40 6065218
kg/kg de producto	Res.Liq. (EtOH)	7 56633923	11 3495095	13 2410943	15 1326791	29 8783036
kg/año	Producto ácido cítrico	1 536 685	2 305 027	2 689 198	3 073 369	3 841 702

Fuente. Elaboración Propia.

Mediante este análisis se pudo identificar los materiales a granel a exclusión del (nitrógeno, oxígeno y vapor EtOH (30% p / p)) ya que presentan incrementos graduales con respecto al bagazo de la caña de azúcar. Estos componentes son usados principalmente en la etapa de hidrólisis, lavado, hidrolizado y fermentación por lo que es indispensable el acondicionamiento del sustrato ya fermentado.

En el consumo de utilidades a excepción del vapor incrementan, ya que intervienen específicamente en el proceso tecnológico para la producción de ácido cítrico. En cuanto a los residuos sólidos como las cenizas se mantiene constante y líquidos (residual del lavado, líquido (lignina) y el EtOH)) va incrementando conforme al consumo del bagazo de caña de caña de azúcar.

4.1.7. CONSTATAR LA DISPONIBILIDAD Y CONSUMO DE MATERIA PRIMA

En la disponibilidad de la materia prima anteriormente mencionado en el epígrafe 4.3.4 sobre la disponibilidad y adquisición de la materia prima se detalla en la siguiente tabla 13.

Tabla 13 Disponibilidad vs consumo de bagazo de caña de azúcar.

Disponibilidad de Bagazo (t/d)	Consumo de Bagazo (t/día)
179,42	36
	54
	63
	72
	108

Fuente. Elaboración Propia.

Por lo que se puede apreciar que la disponibilidad de la materia prima es mayor para cada uno de los procedimientos realizados en la simulación. Por lo que se determina que en el diagrama heurístico es la continuación respecto a la etapa 8.

4.1.8. COMPROBAR EL CUMPLIMIENTO DE NORMAS AMBIENTALES

Los residuos generados en el proceso tecnológico tales como, cenizas y otras impurezas del bagazo de caña de azúcar resultado del proceso de filtración antes de ser fermentada. El micelio, los microorganismos muertos, que son separados del licor post-fermentativo. El licor post fermentativo separado del ácido cítrico tras la lechada de cal. El yeso resultante de la descomposición del citrato mediante la reacción. El licor madre que se obtiene del proceso de cristalización. Como se puede visualizar en el epígrafe 4.1.6 la cantidad de

desechos producidos en función a la cantidad del bagazo de la caña de azúcar el cual permite definir el costo de eliminación de los residuos ver figura 22 (Anexo 3).

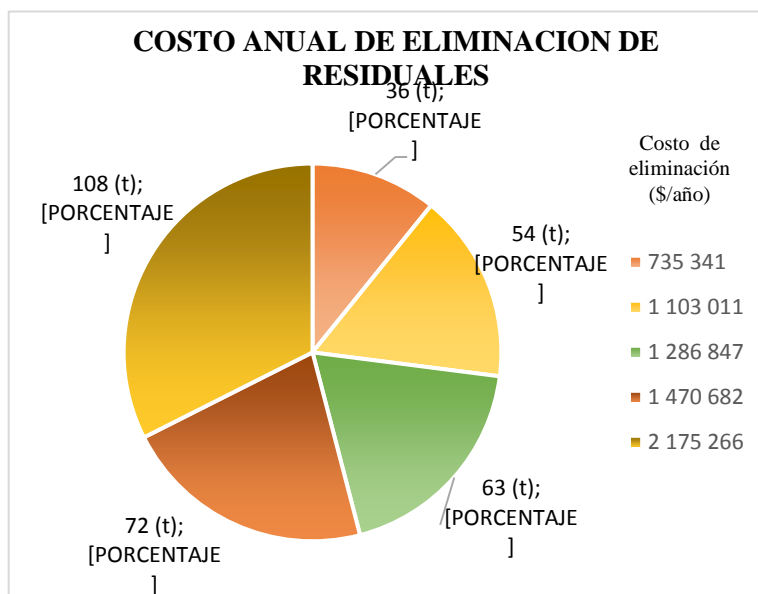


Figura 22 Coste anual de eliminación de residuos. **Fuente:** Elaboración Propia.

RESIDUOS SÓLIDOS

El residuo sólido de mayor relevancia producido es el sulfato cálcico o yeso proveniente de la descomposición del citrato cálcico. Este residuo puede utilizarse como aglomerante y relleno en la industria de la construcción como filtrante en la industria de la alimentación por lo que se valoriza vendiéndola como subproducto. En el Ecuador el kg de yeso se cotiza en 3,80\$(Mercado.Libre., 2017).El yeso será almacenado en una bodega de almacenamiento para la venta, caso contrario se trasladará para su tratamiento y posterior desecho.

RESIDUOS GASEOSOS

Las emisiones gaseosas se forman como resultado del exceso de azúcar (sacarosa, otros componentes) y el suministro insuficiente de oxígeno en el fermentador. En estas condiciones ocurre la fermentación anaerobia, este proceso genera alcohol y dióxido de carbono, de esta forma aumenta la generación de alcohol mientras que el rendimiento de formación de biomasa disminuye por ello en las últimas etapas de fermentación se alimenta los fermentadores se alimentan con suficiente oxígeno para suprimir la formación de etanol siendo un compuesto químico conocido también con alcohol etílico, es un líquido incoloro sin olor, inflamable que posee un punto de ebullición cercano a 78°C compuesto del 100% de etanol.

El control de proceso puede incluir las siguientes medidas:

- Con un adecuado control de calidad calcular la composición de azúcares°Brix pH.
- Suministrar suficiente oxígeno a los fermentadores para optimizar el contenido de oxígeno disuelto en el medio.
- Implantar un sistema de monitorización y un control de retroalimentación. Este sistema permite calcular mediante un ordenador, los requerimientos de nutrientes bagazo de caña del proceso y la adición necesaria de agua.

RESIDUOS LÍQUIDOS

(Rivada Núñez, 2008) el residuo líquido de gran volumen obtenido como subproducto es el licor madre que sale del cristalizador, con un porcentaje de ácido cítrico y que no puede usarse para cristalización debido a que las impurezas se incrustarían en los cristales y estos crecerían de manera irregular. El licor madre se podría vender como producto puesto que esta dilución puede ser usada como cohesionante en la industria alimentaria. En el mercado existen diluciones comerciales de ácido cítrico concentrado entre 20% y un 50%. Esta posible venta dependerá del mercado.

Esta corriente posee una carga contaminante alta por lo que su depuración requiere utilizar un tratamiento adecuado para rebajar la carga contaminante antes de su desecho lo que supone un gasto extra para la planta.

Otra opción empleada industrialmente es la recirculación de esta etapa de lechada o de intercambio iónico con la finalidad de aumentar la concentración de ácido cítrico y mejorar el rendimiento de estas etapas. Esta práctica también supone un incremento de coste tanto en materia prima (cal y ácido sulfúrico) lo que se produce más yeso, el consumo de energía (en evaporación y cristalización) y el tiempo.

Otro efluente con alta contaminación es el licor post-fermentativo. Posterior separación del micelio (biomasa) se produce la lechada de cal y se separa el citratocálcico sólido, la fase líquida obtenida tras la separación está compuesta principalmente por agua (entre un 1%) ácido cítrico no separado (hasta un 050%) polialcoholes y otras sustancias producidas durante la fermentación, con una carga contaminante baja pero que debe ser tratada al contener una DQO (Demanda química de oxígeno) moderada y compuestos con nitrógeno fosforo y sulfatos.

Medidas para prevenir o minimizar estos residuos líquidos:

- Recirculación de aguas utilizadas para refrigeración.
- Separación de aguas de lluvia de las descargas de residuos líquidos
- Aprovechamiento al máximo del bagazo de caña.
- Reducción de las pérdidas del producto en la línea de producto en la línea de proceso implementando un programa de mantenimiento de válvulas bombas etcétera.

El licor fermentativo poco fermentado o a medio fermentar, debido a que puede darse un mal proceso y tener que eliminar todo el volumen de reactor por algún fallo en el crecimiento microbiano, al tener la producción dividida en varios fermentadores las consecuencias de este fallo y el problema que acarrea la disposición de este efluente serán menor.

Para el tratamiento de los efluentes habría que diseñar un proceso con digestores anaeróbicos seguido de un tratamiento aerobio para eliminar entre un 70% a 80% de la demanda química de oxígeno (DQO) lo que produciría además un biogás útil para producir energía.

El diseño del tratamiento lo puede realizar la industrial lo que supondría un coste adicional o se tomara la opción de enviar el residuo a terceros para que sea tratado adecuadamente.

4.1.9. DETERMINAR LA CAPACIDAD Y COSTOS DE ADQUISICIÓN DE LOS EQUIPOS

Los balances de masa y energía consisten en especificar la capacidad estimada de los equipos y cuantos se necesitan en el proceso tecnológico de ácido cítrico en función de la disponibilidad del bagazo de caña de azúcar.

Mediante la simulación se puede seleccionar los equipos que se implican en el proceso, a partir de los datos de las corrientes tales como, caudales, temperaturas, presiones, potencias, etcétera, tomando en cuenta que varios datos se obtienen de la bibliografía el cual nos facilita al diseño de los equipos que constituye dicha planta. (Ver anexo 4). En la figura 23 se define los costos de inversión El número óptimo de equipos involucrados en el proceso tecnológico se detallan en (Anexos 4). Desde el dimensionamiento de los equipos se calcula el costo de inversión generado para el año 2010.

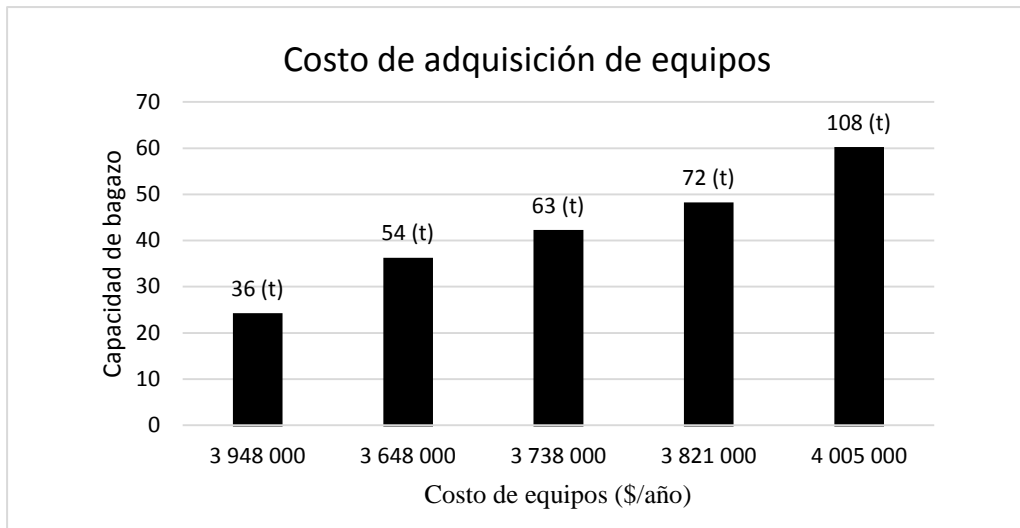


Figura23Costos totales de adquisición de equipos. **Fuente:** Elaboración propia.

Por medio del costo de los equipos se puede calcular los costos de operaciones fijos. Los costos de operación variables y los ingresos se adquiere directamente de las entradas y salidas de las materias primas y los productos que contiene la planta. Esto nos permite realizar un cálculo de coste producción. (Ver anexo 2).

4.1.10. DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS

La cantidad óptima de los equipos involucrados del proceso tecnológico se puede visualizar en el (Anexo 4), por medio del dimensionamiento se calcula el costo de cada uno de los equipos que conforma la planta para de esta manera poder estimar el costo total de inversión. En este paso se asumió que la fiabilidad del equipamiento es alta por lo que no se necesita equipos redundantes. Coincidiendo con los equipos determinados en el paso anterior.

4.1.11. REALIZAR EL ANÁLISIS ECONÓMICO

✚ COSTO INVERSIÓN TOTAL

La suma de los costos directos totales de la planta (TPDC) y los costos indirectos de la planta (TPIC) facilita los costos totales de la inversión. (Ver anexo 5). Se determina los costos de posibilidades e imprevistos que se describe a los cambios respecto a los presupuestos demoras temporales, huelgas y desastres naturales que se presentan. Además, se incorpora los gastos de construcción que conlleva todos los costos para la fabricación física de la planta incorporando los servicios temporales abastecimientos que son imprescindibles y la ingeniería que pertenece a la inspección de los equipos su ubicación y enlaces entre ellos.

COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL

Consiste en la evaluación económica de los cuales se distribuyen en costos de variables y costos fijos de la operación. Los costos de las variables se someten directamente al nivel de producción de la planta que involucra la utilización de materias primas, servicios y costos de tratamientos de los desechos (Ver anexo 6). En la figura 24 se puede visualizar los costos de operación anual en función al incremento del consumo del bagazo de la caña de azúcar.

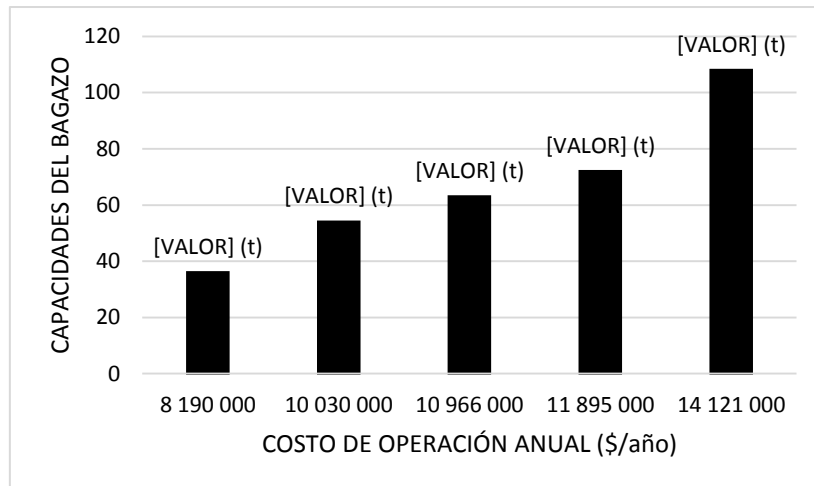


Figura 24 Costos de operación anual vs las capacidades de bagazo de caña de azúcar.
Fuente. Elaboración Propia.

VIABILIDAD ECONÓMICA

4.1.12. OPTIMIZACIÓN

No se emplea ningún proceso de optimización.

4.1.13. VALORACIÓN DE LA

ALTERNATIVA ECONÓMICAMENTE FACTIBLE.

La factibilidad económica y rentabilidad del proceso tecnológico simulado se especifica mediante el valor actual neto (VAN) en donde se determinará si es rentable y si el VAN va a hacer rentable.

Se estudió las distintas capacidades de bagazo empezando con 36t en donde el VAN resultó negativo, igualmente que la tasa de retorno y período de recuperación por lo que no es rentable. Por lo antes mencionado se regresa al paso 4.1.4 para estimar nuevas capacidades escogiendo un valor cercano a la disponibilidad de materia prima (179,42 t/día). Se puede apreciar en la figura 25 las distintas capacidades simuladas de 36t, 54t, 63t, 72t y 108t de bagazo de caña de azúcar, las cuales señalan las alternativas de las

capacidades que serán rentables con respecto a los indicadores dinámicos. Las producciones están propensas a fluctuaciones en esta producción tendría una fluctuación del 40%. Se continúa con el siguiente paso 4.1.14.

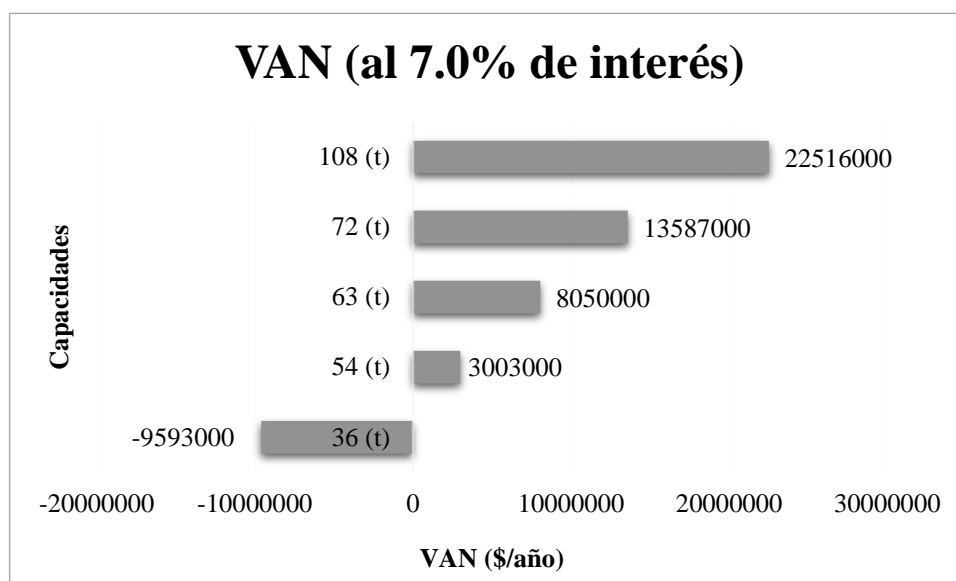


Figura 25 Análisis de VAN las diferentes capacidades simuladas. **Fuente:** Elaboración Propia.

Al realizarse la simulación de las diferentes capacidades se puede evidenciar (figura 26) que existe un cambio del VAN negativo a positivo en el intervalo de capacidad de 36 a 54 t/año. Al utilizarse la ecuación de la curva de tendencia de se determinó que la capacidad cuando el VAN queda en cero a una tasa de interés determinada es de 49 t. Es en este valor donde el VAN empieza a tomar valores positivos y pero lo tanto factible la inversión.

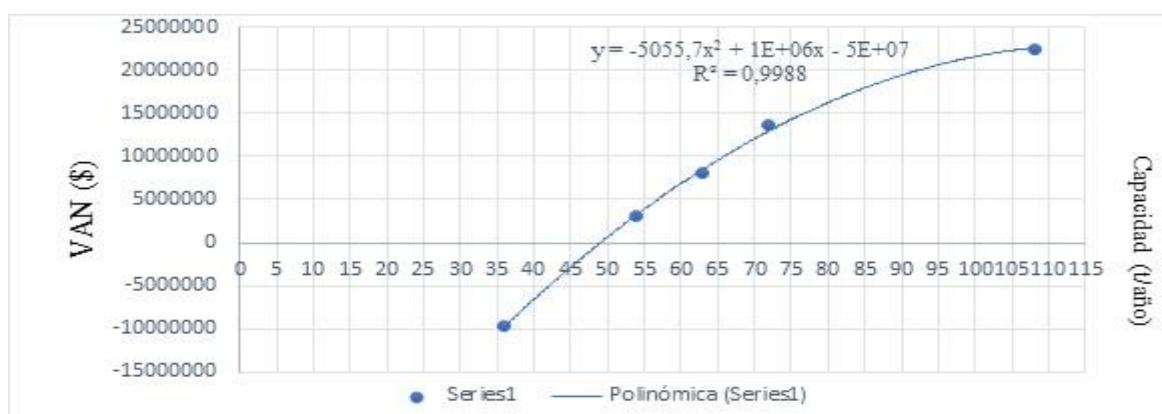


Figura 26. Cálculo de la capacidad cuando el VAN queda en cero a una tasa de interés determinada. **Fuente:** Elaboración Propia

Se calculó los años de retorno de inversión que disminuyen, mientras que el VAN va incrementándose. (Ver Anexo 7). Dichos valores sirven para determinar si la inversión se

puede recuperar en menor tiempo. Tomando en cuenta que la capacidad simulada de 108t de bagazo de caña de azúcar es el más óptimo, así lo indican los indicadores dinámicos económicos que se puede visualizar en el (Ver anexo 7).

4.1.14. ANÁLISIS DE OTRAS TECNOLOGÍAS

En esta investigación no se estudió otras tecnologías. Sin embargo, se analizó la tecnología de producción de ácido cítrico a partir del bagazo de caña de azúcar.

4.1.15. ANÁLISIS DE NUEVAS CAPACIDADES

Se simuló las capacidades de 36t, 54t, 63t, 72t y 108t de bagazo de caña de azúcar con el objetivo de plantear alternativas tecnológicas que sean factibles para la producción de ácido cítrico. Estas alternativas nos proporcionan elegir qué capacidad de bagazo de caña de azúcar es rentable en función a la demanda del producto. Este estudio se ejecuta iniciando en el epígrafe 4.1.3 para continuar con los pasos siguientes.

El esquema tecnológico definido es el proceso tecnológico de producción de ácido cítrico con hidrólisis enzimática que se detallan en las figuras 17, 18 y 19. Se estimó la capacidad en el epígrafe 4.1.4. En la provincia de Pastaza existen 4,500 ha de cultivo de caña de azúcar que se utilizan en la producción la cuales se destinan el 40% para panela, 30% para aguardiente, 30% para caña en fruta y el 10% restante como residuo con un rendimiento equivalente al 70,30%.

En el epígrafe 4.1.5, se describe si existe la disponibilidad de bagazo resultante de la fabricación de panela en las parroquias Fátima, Puyo y Tarqui sector Las Américas.

Mediante el simulador *SuperPro Designer* se realiza los cálculos de balances de masa y energía especificado en el epígrafe 4.1.6 con los indicadores medio ambientales se especificaron los flujos y composición de cada una de las capacidades que se simularon.

El epígrafe 4.1.7. Se comprueba la disponibilidad de bagazo de caña de azúcar que equivale a 179,42 t/día, dicho de otra manera, que es mayor el consumo de bagazo vinculada con las siete capacidades que se simularon, teniendo en cuenta que existe un sobrante de bagazo de caña de azúcar.

El epígrafe 4.1.8 se vincula con las normas ambientales la cual se verifica con la ejecución de la misma. Se obtiene residuos sólidos como yeso y biomasa, residuos líquidos, lignina, agua de lavado e hidrolasas y emisiones de CO₂ que incrementan de acuerdo a las capacidades simuladas.

La capacidad y costo de adquisición de los equipos presentes en el epígrafe 4.1.9. y 4.1.10 de la disponibilidad dependen directamente de los parámetros de diseño (caudales, temperaturas, presiones, potencias entre otros) que caracterizan a cada equipo del trabajo a desarrollar y la capacidad de bagazo de caña que se emplea para el proceso tecnológico. El número óptimo de los equipos no presenta cambios en las capacidades de bagazo simuladas.

El epígrafe 4.1.11 se vincula con el análisis económico que se desarrolla a partir de los costos de operación anual, si se encuentran incrementos de los costos requeridos para cada una de las capacidades asimismo de los flujos y corrientes del proceso. Sin embargo, este análisis busca incrementar la rentabilidad comprando los indicadores dinámicos (Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno, período de recuperación de la inversión).

La capacidad de 36 t de bagazo de caña de azúcar que simuló represento indicadores dinámicos económicos negativos, sin embargo, se simularon nuevas capacidades de 108t, la cual fue en descenso hasta llegar a la capacidad mínima de 36t de bagazo de caña de azúcar. El epígrafe 4.1.13 se tomó en cuenta la alternativa económicamente factible de las capacidades que se simularon mediante el cálculo de la capacidad cuando el VAN queda en cero a una tasa de interés determinada es de 49 t de bagazo de caña de azúcar, cuando el VAN es mayor a cero empezara a generar ganancias (Ver Anexo 7). Permitiendo escoger el más factible en función de la inversión que se cuente.

4.1.16. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y CAPACIDAD ÓPTIMA.

Los indicadores técnicoeconómicos y ambientales que se puede visualizar en los (Anexos 1, 2 y 3) nos permite comparar diversas capacidades del bagazo que serán utilizadas en el proceso tecnológico para la producción de ácido cítrico. Se determinó la capacidad de bagazo, cuando el VAN queda en cero a una tasa de interés determinada es de 49 t, en donde el VAN es positivo con un valor equivalente a 54 toneladas de bagazo de caña de azúcar. La capacidad óptima de bagazo de caña de azúcar simulada es de 108 toneladas, con un TIR equivalente al 24 % y con un período de recuperación de 4.13 años. La capacidad elegida es idónea mediante los análisis técnicoeconómicos y medioambientales ya que ayudan en las etapas de macrolocalización y disponibilidad de los equipos.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la capacidad factible, para el diseño *in silico* del proceso tecnológico para la obtención de ácido cítrico es 108 t con valor Actual Neto (VAN) de \$22 516 000, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 24 % y un período de recuperación de la inversión (PRD) de 4.13 años; en función de las 179,42 t/día de bagazo de caña de azúcar disponible en la Provincia de Pastaza.
2. La hidrólisis enzimática se seleccionó como la etapa de pretatamiento del bagazo.. Esta se caracteriza por estar compuesta por dos pretramientos (hidrólisis ácida y básica). La hidrólisis ácida, básica y enzimática se realizan con ácido sulfúrico diluido (1%), hidróxido de sodio (3%).e hidrolasas respectivamente.
3. Se seleccionó la tecnología de obtención de ácido cítrico, que comprende el acondicionamiento, hidrólisis enzimática, fermentación en estado sólido, separación con extracción líquido-líquido con reacción química y purificación por su viabilidad en el contexto de Pastaza.
4. Se utilizó el simulador *SuperPro Designer* para la determinación de los indicadores técnico económico y ambiental así mismo para resolver los balances de masa y energía el dimensionamiento de los equipos y el análisis económico de las capacidades de 36 ,54 ,63, 72 y 108 toneladas de bagazo. La capacidad a la cual se empiezan a generar ganancias a una tasa de interés del 7% es de 49 t.
5. Se analizó la posible utilización como materia prima para otros productos o su aplicación directa de los residuos sólidos (yeso,biomasa) líquido (lignina, agua de lavado, hidrolasas) y emisiones de CO2 que se destinan para la producción de nuevos productos o tratamientos compatibles con el medio ambiente.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Que se realicen estudios para la obtención de ácido cítrico de otras fuentes de materias primas existentes en la región amazónica que se encuentran sin aprovechar.
2. Que se validea nivel de laboratorio,escala piloto e industrial y los resultados obtenidos para su aplicación en las paneleras y así diversificar y generar nuevas fuentes de ingresos económicos.
3. Que se desarrolle un estudio de los productos que se pueden obtener de las corrientes de nutrientes y biomasa para reducir el impacto ambiental e incrementar las ganancias.

CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar Rivera, N. (2011). Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XII(1), 189-197.
- Albernas Carvajal, Y., Pedraza Gárciga, J., Corsano, G., Rodríguez Rodríguez, L., & González Suárez, E. (2015). Primera aproximación a la cinética de la obtención de etanol mediante sacarificación y fermentación simultánea del bagazo. *Afinidad LXXIII*, 1-6.
- Alcala, L., Muñoz, P., Pelaez, T., & Bouza, E. (1992). *Aspergillus Niger*. *Control de Calidad SEIMC*. Retrieved from <http://www.uprm.edu/biology/profs/betancourtc/Lab/Aspergilosis.htm>
- Alvarez Santana, J. S. (2017). *Evaluación de la funcionalidad de producción de ácido cítrico usando cepas de Aspergillus Niger identificadas molecularmente*. (Trabajo de Investigación para la obtención de titulación), Universidad San Francisco De Quito USFQ, Quito.
- Amenaghwon, N. A., Areguamen, S. O., Agbroko, N. T., Ogbeide, S. E., & Okieimen, C. O. (2013). Modelling and statistical optimisation of citric acid production from solid state fermentation of sugar cane bagasse using *Aspergillus Niger*. *International Journal of Sciences*, 2, 1-7.
- Asocap. (2010). *Agroindustria Panelera En La Provincia De Pastaza-Ecuador*. Retrieved from
- Boarini Sorg, J. M. (2006). *Utilización del bagazo de caña de azúcar para la elaboración de briquetas de combustible sólido para usos domésticos en la ciudad de Guatemala* Rafael Landívar Guatemala.
- Campués Tulcán, J. K., & Tarupí Rosero, J. C. (2011). *Obtención de alcohol a partir de jugo de caña, cachaza y melaza, mediante la incorporación de dos niveles de fermento (Saccharomyces cerevisiae)*. Universidad Técnica del Norte
- Censo. (2010). Población de Pastaza. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Cruz, R. A., Mendoza Martínez, A. M., Chávez Cinco, M., Rivera Armenta, J. L., & Cruz Gómez, M. J. (2011). Aprovechamiento del bagazo de piña para obtener celulosa y bioetanol. *Afinidad LXVIII*, 1-6.
- Durán Siles, J. M. (2007). *Extracción de la lignina a partir de la cáscara de almendra*. (Proyecto de fin de carrera de ingeniería química), Universidad De Cádiz.
- Ferrer, J., Machado, J., & Brieva, J. (2014). Fermentación en estado sólido: una alternativa biotecnológica para el aprovechamiento de desechos agroindustriales. *Revista tecno científica URU*, 12.
- Fotoseimagenes. (2015). Estructura de la hemicelulosa. Retrieved from <http://www.fotoseimagenes.net/hemicelulosa>
- Fuentealba, M. (2015). Acidulantes. Retrieved from <http://mfuentealba2015.blogspot.com/>
- GADPPz. (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Provincia de Pastaza al año 2025. *Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pastaza*, 424.
- Gálvez Taupier, L. O. (2000). *Manual de los derivados de la caña de azúcar* (S. Roselló Bugallo Ed.).
- Garcés Paz, R. V., & Martínez Silva, S. V. (2016). *Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda*. Univerdidad de Pereira.
- García García, L., Bordallo López, E., Dopico Ramírez, D., & Cordero Fernández, D. (2013). Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(1).
- González Rivera, J. E. (2013). *Elaboración de un estudio para el mejoramiento industrial y socioeconómico en la central panelera de la parroquia Teniente Hugo Ortíz, de la asociación de cañicultores de la provincia de Pastaza*. (Trabajo de investigación previa a la obtención del grado académico de magister en gestión de la producción agroindustrial), Universidad Técnica De Ambato.
- Gutiérrez Solís, A. (2016). Transformar bagazo de caña de azúcar en plástico biodegradable. In A. I. Conacyt (Ed.). Colima.
- Judson King, C. (1979). *Procesos de Separación* (Mc Graw-Hill Book Company. New York, U.S.A ed.).

- León, C. (2008). *Producción y cuantificación de un antibiótico por electroforesis capilar* (Ingeniero Biotecnólogo), Instituto Politécnico Nacional.
- López Martínez, A., Bolio López, G., Veleza, L., Solórzano Valencia, M., Acosta Tejada, G., Hernández Villegas, M. M., . . . Córdova Sánchez, S. (2016). Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agroproductividad*, 9(7), 41-45.
- Lozano García, L. M., & Castillo Rueda, K. N. (2015). *Formulación de estrategias de producción mas limpia para optimizar el desempeño ambiental en el trapiche panelero la Tortuga Municipio De González, Cesar*. Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña.
- Max, B., Salgado, J. M., Rodríguez, N., Cortés, S., Converti, A., & Domínguez, J. M. (2010). Biotechnological production of citric acid. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1-14.
- Mercado.Libre. (2017). Costo del Yeso Retrieved from [https://listado.mercadolibre.com.ec/yeso-agricola#D\[A:yeso-agricola,B:5\]](https://listado.mercadolibre.com.ec/yeso-agricola#D[A:yeso-agricola,B:5])
- Moltó Marín , J. L. (2014). *Obtención de Acido cítrico*. Complutense de Madrid.
- Muñoz Villa, A., Sáenz Galindo, A., López López, L., Cantú Sifuentes, L., & Barajas Bermúdez, L. (2014). Ácido cítrico: Compuesto interesante. *AQM Acta química mexicana, Volumen 6, No 12*, 6.
- Oliva, D., Antolín, G., & Escalada, L. (2004). Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado. *CIEMAT*, 8.
- Osorio Saraz, J. A., Varón Aristizabal, F., & Herrera Mejía, J. A. (2007). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar *Dyna*, 74(153), 69-79.
- Oviedo, J. C., Casas, A. E., Valencia, J. A., & Zapata, J. E. (2014). Análisis de la medición de la biomasa en fermentación en estado sólido empleando el modelo logístico y redes neuronales. *Información Tecnológica*, 25(4), 141-152 (2014), 12.
- Pérez Ávila, A. D. (2014). *Desarrollo y evaluación de un sistema de membrana líquida en flujo de Taylor para la remoción de ácido láctico*. (Magister en Ingeniería Química), Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Pérez Martínez, A., Cervantes Mendieta, E., Julián Ricardo, M. C., Gonzáles Suárez, E., Gómez Atanay, A., Oquendo Ferrer, H., . . . Ramos Sánchez, L. (2012). Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos de la industria azucarera y sus derivados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(2), 333-349.
- Pérez Navarro, O., Ley Chong, N., Rodríguez Marroquí, K. R., & González Suárez, E. (2016). Oportunidades de producción de ácido cítrico por vía fermentativa a partir de sustratos azucarados en Cuba. *Revista centro azúcar*, 43(2), 85-99.
- Pernalet, Z., Piña, F., Suárez, M., Ferrer, A., & Aiello, C. (2008). Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: Efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco *Bioagro*, 20(1), 3-10.
- Québec. (2016). *Aspergillus Niger*. Retrieved from <https://www.inspq.qc.ca/es/node/484>
- Rivada Núñez, F. J. (2008). *Planta industrial de producción de ácido cítrico a partir de melazas de remolacha*. Universidad de Cádiz.
- Roca Alarcón, G. A., & (1993). Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. *Centro de Estudios de Eficiencia Energética-CEEFE*, 10.
- Rosas Criollo, M. B., & Terán Fuentes, D. F. (2015). *Obtención de ácido cítrico a partir de melaza o cachaza, mediante fermentación utilizando cepa de Aspergillus Niger ATCC 16888*. (Tesis previa a la obtención del título de ingeniero agroindustrial), Universidad Técnica Del Norte
- Sablón Cossío, N., Pérez Quintana, M. L., Acevedo Suárez, J. A., Chacón Guerra, E., & Villalba Pozo, V. (2016). La integración en la cadena agroalimentaria de panela en el Puyo-Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 128-135 doi:10.13140/RG.2.2.29471.56480
- Salazar Riofrío, G. B. (2012). *Elaboración de una Planificación Estratégica para la Asociación de cañicultores de Pastaza "Asocap" de la ciudad de Puyo cantón Pastaza Provincia de Pastaza.Período 2011- 2013*. (Previo a la obtención del título de Ingeniera de Empresas), Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

- Sánchez Toro, O. J., Ortiz Buriticá, M. C., & Betancourt Garcés, A. L. (2004). Obtención de ácido cítrico a partir de suero de leche por fermentación con *Aspergillus* spp. *Revista Colombiana de Biotecnología*, VI, 13.
- Soccol, C. R., Vandenberghe Luciana, P. S., Rodrigues, C., & Pandey, A. (2006). New perspectives for citric acid production and application. *Food Technol. Biotechnol.*
- Soria, M. A. (1997). *Producción de ácido cítrico y desarrollo morfológico en miembros del género Aspergillus*. Buenos Aires
- Subirós Ruiz, F. (2002). *El cultivo de la caña de azúcar* (1 ed.).
- Trademap. (2017a). Crecimiento de la demanda nacional y de la oferta internacional para los productos importados por Ecuador en 2016. Retrieved from http://www.trademap.org/Product_SelProductCountry_Graph.aspx?nvpm=3|218|||291814||6|1|1|1|1|1|1|1|1|1
- Trademap. (2017b). Perspectivas para una diversificación de países proveedores para un producto importado por Ecuador en 2016. Retrieved from http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_Graph.aspx?nvpm=3|218|||2918||4|1|1|1|1|1|1|2|1|1

CAPÍTULO VII ANEXOS

ANEXO 1. CANTIDADES DE MATERIALES.

CANTIDADES DE MATERIALES - RESUMEN DEL PROCESO						
Unidad	Materiales	36 t	54 t	63 t	72 t	108 t
kg	H ₂ SO ₄ (10% w/w)	18 216 000	27 324 000	31 878 000	36 432 000	45 540 000
t	HP Steam	29 7	44 55	51 975	59 4	89 1
kg	Hydrolase	113 6	170 399	198 799	227 199	284 173
t	Water	46 484	69 726	81 347	92 968	116 219
kg	Bagazo	11 880 000	17 820 000	20 790 000	23 760 000	29 700 000
kg	Nitrogen	396	594	693	792	990
kg	Oxygen	99	148 5	173 25	198	247 5
kg	Amm. Sulfate	791 154	1 186 731	1 384 519	1 582 308	1 977 884
kg	Nutrientes	4 818 846	7 228 269	8 432 981	9 637 692	12 047 116
kg	Ca Hydroxide	1 295 845	1 943 767	2 267 729	2 591 690	3 239 612
kg	Air	13 670 553	20 505 829	23 923 468	27 341 106	34 178 768
t	RO Water	1 839	2 759	3 218	3 678	4 591
kg	EtOH (30% w/w)	665 28	997 92	1 164 240	1 330 560	2 661 120
kg	NaOH (3% w/w)	665 28	997 92	1 164 240	1 330 560	2 661 120
kg/año	(ACIDO CITRICO)	1 536 685	2 305 027	2 689 198	3 073 369	3 841 712

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2. CANTIDAD DE UTILIDADES.

CANTIDAD DE UTILIDADES						
Unidad	Cantidad de Toneladas	36 t	54 t	63 t	72 t	108 t
kW-h	Energía estándar	309 501	464 252	541 627	291	773 813
t	Vapor	12 163	18 245	21 285		30 408
t	Agua de refrigeración	636 174	954 261	1 113 305	2 149	1 590 436
t	Agua fría	166 718	250 078	291 757	49 919 547	416 796
kg/año	(ACIDO CITRICO)	1 536 685	2 305 027	2 689 198	3 073 369	3 841 712

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 3. CANTIDAD DE RESIDUALES

BAGAZO DE CAÑA						
Unidad	Materiales	36 t	54 t	63 t	72 t	108 t
	Residuo sólido	145	218	255	2910	363
t	Ceniza	1 074	1 612	1 880	2 149	2 686
	Líquido acuoso	24 959 773	37 439 660	43 679 603	49 919 547	62 399 433
t	Residual del lavado(B)	11 627 080	17 440 621	20 347 391	23 254 161	45 913 541
kg	Res.Liq. (lignina)	1 074	1 612	1 88	2 149	2 686
kg	Res.Liq. (EtOH)	24 959 773	37 439 660	43 679 603	49 919 547	62 399 433
kg/año	(ACIDO CITRICO)	1 536 685	2 305 027	2 689 198	3 073 369	3 841 712

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4. DIMENSIONAMIENTO Y COSTOS DEL EQUIPAMIENTO. (PRECIOS 2010)

ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO PRINCIPAL Y COSTO FOB (precios de 2010)						
Cant.	Descripción	Costo (\$) en función a la cantidad de bagazo de caña en toneladas				
		36	54	63	72	108
1	Amoladora Tamaño / Capacidad	67 000 96198 kg / h	69 000 144298 kg/h	70 000 168347 kg/h	71 000 1923 97 kg/h	72 000 2404 96 kg/h
1	Separador de flujo Tamaño / Capacidad	0 96198 kg / h	0 144298 kg/h	0 168347 kg/h	0 192397 kg/h	0 240496 kg/h
1	Transportador de tornillo Longitud del tubo	1 10 m	2 000 10 m	3 000 10 m	3 000 10 m	4 000 10 m
1	Reactor Agitado Volumen del recipiente	66 000 273 m ³	84 000 409 m ³	92 000 4 77 m ³	100 000 545 m ³	114 000 682 m ³
1	Mezclador Tamaño / Capacidad	0 108917 kg / h	0 163375 kg/h	0 190604 kg/h	0 217833 kg/h	0 272401 kg/h
1	Reactor Agitado Volumen del buque	18 000 100 m ³	23 000 150 m ³	25 000 175 m ³	27 000 200 m ³	31 000 250 m ³
1	Filtro de Cinturón Anchura de la correa	220 000 013 m	222 000 020 m	223 000 023 m	224 000 027 m	225 000 033 m
1	Filtro de Cinturón Anchura de la correa	219 000 010 m	220 000 015 m	221 000 017 m	222 000 020 m	223 000 025 m
1	Lavadora (flujo masivo) Tamaño / Capacidad	50 000 100000 kg / h	64 000 150000 kg/h	71 000 175000 kg/h	76 000 200000 kg/h	87 000 250000 kg/h
1	Filtro de aire Rendimiento nominal	6 000 0 m ³ /s	6 000 0 m ³ /s	6 000 0 m ³ /s	6 000 0 01 m ³ /s	6 000 001 m ³ /s
1	Compresor centrífugo Potencia del compresor	64 000 471 kW	64 000 707 kW	64 000 825 kW	64 000 942 kW	64 000 1178 kW

1	Tanque de mezcla Volumen del recipiente	209 000 491 m ³	221 000 736 m ³	226 000 859 m ³	230 000 982 m ³	227 000 1227 m ³
1	Esterilizador de calor Rendimiento nominal	571 000 2500 m ³ /h	571 000 2500 m ³ /h	571 000 2500 m ³ /h	571 000 2500 m ³ /h	571 000 2500 m ³ /h
1	Tanque vertical en las piernas Volumen del buque	65 000 5000 m ³	65 000 5000 m ³	65 000 5000 m ³	65 000 5000 m ³	65 000 5000 m ³
1	Filtro de vacío giratorio Superficie del Filtro	93 000 089 m ²	54 000 402 m ²	57 000 469 m ²	60 000 536 m ²	66 000 670 m ²
1	Tanque de mezcla Volumen del recipiente	128 000 m ³	128 000 007 m ³	128 000 008 m ³	128 000 009 m ³	128 000 012 m ³
1	Filtro de vacío rotativo Área del Filtro	67 000 707 m ²	79 000 1060 m ²	84 000 1237 m ²	89 000 1413 m ²	97 000 1766 m ²
1	Tanque de mezcla Volumen del buque	195 000 299 m ³	206 000 448 m ³	211 000 522 m ³	215 000 597 m ³	221 000 746 m ³
1	Filtro de vacío giratorio Área de filtro	75 000 m ²	88 000 1369 m ²	93 000 1597 m ²	98 000 1825 m ²	108 000 2281 m ²
1	Cristalizador Volumen del buque	625 000 1231 m ³	681 00 1847 m ³	707 000 2154 m ³	731 000 2462 m ³	775 000 3078 m ³
1	Filtro de vacío rotativo Área de filtro	53 000 392 m ²	63 000 588 m ²	66 000 685 m ²	70 000 783 m ²	77 000 979 m ²
1	Secador rotatorio Área de secado	73 000 1179 m ²	93 000 1546 m ²	103 000 1713 m ²	111 000 1872 m ²	168 000 1369 m ²
1	Fermentador Volumen del recipiente	134 000 564 m ³	134 000 846 m ³	134 000 987 m ³	134 000 1128 m ³	134 000 1410 m ³
1	Mezclador Volumen del buque	0 13207kg/h	0 198025kg/h	0 231029 kg/h	0 264033kg/h	0 330152kg/h
1	Generador de vapor Volumen de columna	55 000 023 t/h	55 000 035 t/h	55 000 041 t/h	55 000 046 t/h	55 000 058 t/h

1	Turbina de vapor multietapa	27 000	27 000	27 000	27 000	27 000
	Volumen de la columna	099kW	195kW	251kW	311kW	442kW
1	Bomba centrífuga	8 000	8 000	8 000	8 000	9 000
	Intercambiador de calor	009kW	013kW	015kW	017kW	021kW
1	Filtro de cinturón	219 000	220 000	221 000	222 000	223 000
	Anchura de la correa	010 m	015 m	018 m2	020 m	025m
1	Reactor agitado	15 000	19 000	21 000	23 000	29 000
	Tamaño / Capacidad	024m ³	036m ³	042m ³	048m ³	070m ³
1	Equipo no listado	175 000	182 000	187 000	191 000	200 000
	TOTAL	3 948 000	3 648 000	3 738 000	3 821 000	4 005 000

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5. COSTO DE INVERSIÓN.

RESUMEN DEL ESTIMADO DE CAPITAL FIJO (precios de 2010 en \$)					
INDICES	CAPACIDAD EN TONELADAS				
	36	54	63	72	108
A. Costo directo total de planta (TPDC) (costo físico)					
1. Costo de compra del equipo	3 498 000	3 648 000	3 738 000	3 821 000	4 005 000
2. Instalación	1 323 000	1 376 000	1 410 000	1 441 000	1 518 000
3. Tubería de proceso	1 224 000	1 277 000	1 308 000	1 337 000	1 402 000
4. Instrumentación	1 399 000	1 459 000	1 495 000	1 528 000	1 602 000
5. Aislamiento	105 000	109 000	112 000	115 000	120 000
6. Eléctrico	350 000	365 000	374 000	382 000	401 000
7. Edificios	525 000	547 000	561 000	573 000	601 000
8. Mejora de patio	525 000	547 000	561 000	573 000	601 000
9. Instalaciones Auxiliares	700 000	730 000	748 000	764 000	801 000
TPDC	9 648 000	10 059 000	10 307 000	10 534 000	11 050 000
B. Costo Indirecto Total de la Planta (TPIC)					
10. Ingeniería	2 412 000	2 515 000	2 577 000	2 634 000	2 763 000
11. Construcción	3 377 000	3 521 000	3 608 000	3 687 000	3 868 000
TPIC	5 789 000	6 035 000	6 184 000	6 320 000	6 630 000
C. Costo total de la planta (TPC = TPDC + TPIC)					
TPC	15 437 000	16 094 000	16 492 000	16 854 000	17 681 000
D. Tarifa y contingencia del contratista (CFC)					
12. Tarifa del contratista	772 000	805 000	825 000	843 000	884 000
13. Contingencia	1 544 000	1 609 000	1 649 000	1 685 000	1 768 000
CFC = 12 + 13	2 316 000	2 414 000	2 474 000	2 528 000	2 652 000
E. Costo directo de capital fijo (DFC = TPC + CFC)					
DFC	17 753 000	18 508 000	18 965 000	19 383 000	20 333 000

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 6. COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL (PRECIOS DE 2010) OBTENIDOS.

COSTO DE OPERACIÓN ANUAL (precios de 2010) - RESUMEN DEL PROCESO					
Costo anual (\$) en función a la cantidad de bagazo de caña en toneladas					
OPERACIONES	36	54	63	72	108
Materias primas	2 538 000	3 807 000	4 442 000	5 076 000	6 355 000
Dependiente del trabajo	1 349 000	1 349 000	1 349 000	1 349 000	1 349 000
Dependiente de la instalación	3 453 000	3 600 000	3 689 000	3 771 000	3 956 000
Consumibles	0	0	0	0	0
Tratamiento / Eliminación de Residuos	735 000	1 103 000	1 287 000	1 471 000	2 175 000
Utilidades	114 000	171 000	199 000	228 000	285 000
Transporte	0	0	0	0	0
Diverso	0	0	0	0	0
Publicidad / Venta	0	0	0	0	0
Regalías corrientes	0	0	0	0	0
Eliminación de productos fallidos	0	0	0	0	0
COSTO DE OPERACIÓN ANUAL	8 190 000	10 030 000	10 966 000	11 895 000	14 121 000

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 7. INDICADORES DINÁMICOS ECÓNICOS.

RESUMEN EJECUTIVO (PRECIOS DE 2010) CALCULO DEL VAN TIR

CAPACIDADES

ÍNDICES		36	54	63	72	108
Inversión total de capital	\$	18 956 00	19 845 000	20 373 000	20 860 000	21 985 000
Inversión de capital cobrada a este proyecto	\$	18 956 00	19 845 000	20 373 000	20 860 000	21 985 000
Costo operacional	\$/año	8 190 00	10 030 000	10 966 000	11 895 000	14 121 000
Coste Operativo Neto	\$/año	8 190 02	10 030 064	10 966 278	11 894 809	14 120 713
Ingresos principales	\$/año	2 285 00	3 428 000	4 000 000	4 571 000	5 714 000
Otros Ingresos	\$/año	5 420 23	8 130 526	9 485 697	10 840 883	13 551 293
Ingresos totales	\$/año	7 706 00	11 559 000	13 485 000	15 412 000	19 265 000
	kg					
Costo Base Tasa anual	MP/año	1 523 62	2 285 438	2 666 344	3 047 250	3 809 063
Costo unitario de producción	\$/kg MP	538	439	411	390	371
Costo neto de producción unitaria	\$/kgMP	538	439	411	390	371
Ingresos de producción unitaria	\$/kgMP	506	506	506	506	506
Margen bruto	%	-629	1322	1868	2282	2670
Retorno de la inversión (TIR)	%	634	1387	1688	1979	2400
Período de recuperación		1577	721	592	505	417
IRR (después de impuestos)		N/A	898	1180	1461	1836
VAN (al 7.0% de interés)	\$	-9593000	3003000	8050000	13587000	22516000

MP=Flujo de Componente 'Ácido Cítrico Cry' en Stream "Producto (Ác. Cítrico)'

Fuente: Elaboración Propia