

Artículo Científico

DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE HARINA A PARTIR DEL ALMIDÓN FERMENTADO DE YUCA COMO UNA NUEVA ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

CASSAVA FERMENTED STARCH FLOUR PRODUCER PLANT DESIGN AS A NEW ALTERNATIVE IN THE FOOD INDUSTRY

Est. María Yesenia Olivio Ayala (1)

RESUMEN

Actualmente el cambio climático es una variable que afecta en gran magnitud a la producción agrícola mundial, en los últimos tiempos en Bolivia se hicieron campañas que benefician a este sector, con asistencia técnica y seguridad jurídica, los cuales no proporcionaron los resultados esperados. Un caso preocupante es el trigo, que si bien es un producto altamente demandado en el mercado boliviano, éste no tiene la suficiente producción para cubrir el mismo, dando como resultado importaciones a altos precios.

Ante esta problemática, se plantea una nueva alternativa en la industria alimenticia, que pueda disminuir dichas importaciones y consumir productos bolivianos, como es el caso de la yuca, que por su composición se considera un alimento nutritivo para las personas, además de ser un cultivo que se adapta a diferentes ecosistemas y crece en una variada gama de condiciones tropicales, es decir, que puede producirse bajo condiciones desfavorables y climas marginales, por lo tanto, el proyecto presentado hará uso de estos beneficios para ofrecer el producto harina de yuca a partir del almidón fermentado, el mismo será accesible y de buena calidad, aplicando un diseño adecuado de la planta productora, un flujo del proceso estructurado y un estudio económico - financiero.

Palabras clave: Harina de yuca. Industria alimenticia. Yuca.

ABSTRACT

Nowadays, global warming is a variable that affects in big magnitude the worldwide agricultural production, in

the last times; Bolivia has had campaigns that benefit this section, with technical assistance and legal security, which do not provide the expected results. A troubling case is wheat, although it is a highly demanded product in the Bolivian market, it does not have enough production to cover that market, resulting in imports at high prices.

Taking into account this problem, a new alternative in the food industry is proposed, which can reduce these imports and consume Bolivian products, such as cassava, that by its composition, is considered a nutritious food for people, besides being a crop that adapts to different ecosystems and grows in a wide range of tropical conditions, that may occur under unfavorable conditions and marginal climates, therefore, the submitted project will use these benefits to offer cassava flour from fermented starch, it will be accessible and of have good quality by applying an appropriate design of the producer plant, a structured process flow and an economic-financial study.

Keywords: Cassava flour. Food industry. Cassava.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la información recolectada, se afirma que en Bolivia existe escasez de trigo, debido a que las zonas de cultivo son afectadas constantemente por los efectos del cambio climático, que repercutieron en gran magnitud la producción, inclusive llegando a no ser aptos para el consumo humano, generando una demanda insatisfecha en la industria alimenticia, además de incidir en las importaciones e incremento en el precio. El trigo es la materia prima para la elaboración de

Páginas 25 a 40

Fecha de recepción: 30/06/15

Fecha de aprobación: 02/17/15

1) Egresada de la carrera de Ingeniería Industrial. Actualmente trabajando en JP SA Couto Sucursal Bolivia S.A. Univalle La Paz. yesenia_olivioayala@outlook.es

harina y como consecuencia el pan, el cual es un elemento importante en la canasta familiar. El incremento del precio afecta de forma directa a toda la población especialmente a las personas de bajos recursos económicos.

En vista de este problema se analizaron varios productos que pudieran tener las mismas o mejores características que el trigo, además de lograr una buena aceptación en el mercado.

Un potencial alimento es una yuca, rica en hidratos de carbono, pobre en grasa y proteínas, ayuda a la digestión, aporta vitaminas B y C, además de minerales como: potasio, magnesio, hierro y no contiene gluten; siendo apta para las personas celíacas. Este alimento, en la mayor parte del país se lo consume fresco, pero en los departamentos como Beni, Pando y Santa Cruz se lo consume macerada en un plato regional llamado “masaco”.

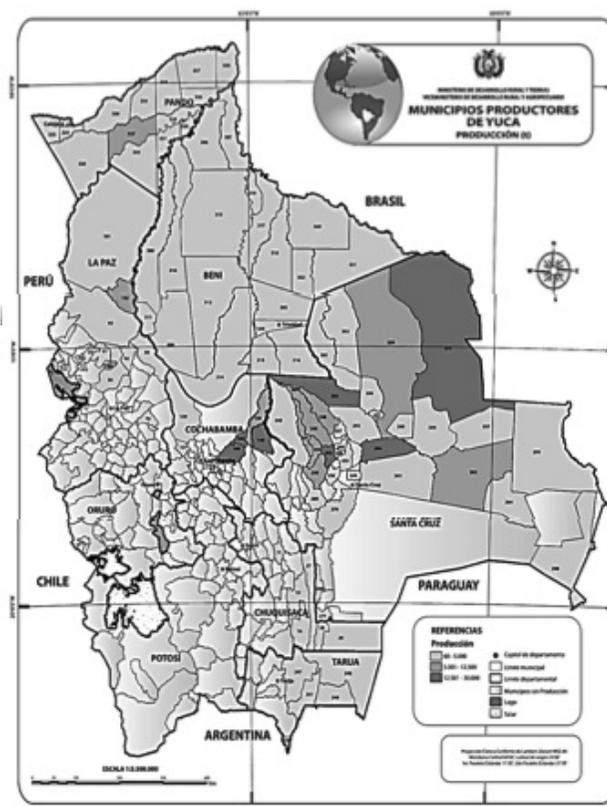
Analizando la viabilidad en las propiedades y características que ofrece la yuca, se realizó la propuesta del presente proyecto, enfocado en el aprovechamiento de este alimento para cubrir de forma parcial o total el mercado insatisfecho del consumo de harina de trigo, y con el apoyo de los estudios y las pruebas de laboratorio en cuanto a la fermentación del almidón de la yuca como un nuevo método para la elaboración de harina, que favorece su prevención y conservación, realizados en la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) de forma experimental.

Se utilizarán los datos y resultados para la elaboración del proyecto del diseño de una planta productora de harina a partir de la fermentación del almidón de la yuca, el cual genera una nueva alternativa en la industria alimenticia, enfocado al mercado en general por sus propiedades nutritivas, pero especialmente para los celíacos, es decir, para aquellas personas que tiene dificultad de digerir algunos compuestos que forma parte de los cereales como el gluten.

I. YUCA

La yuca (*Manihotesculenta*) es una especie de raíz amilácea que se cultiva en los trópicos y subtrópicos, a pesar de que es uno de los cultivos alimenticios más importantes de los países tropicales, es muy poco conocida en el mundo (Figura N° 1).

Figura N° 1. Zonas productoras de yuca en Bolivia



Fuente: (1).

1.1 Siembra: La semilla (estacas) se obtiene de tallos primarios de plantas maduras de una edad entre 10 a 12 meses (1).

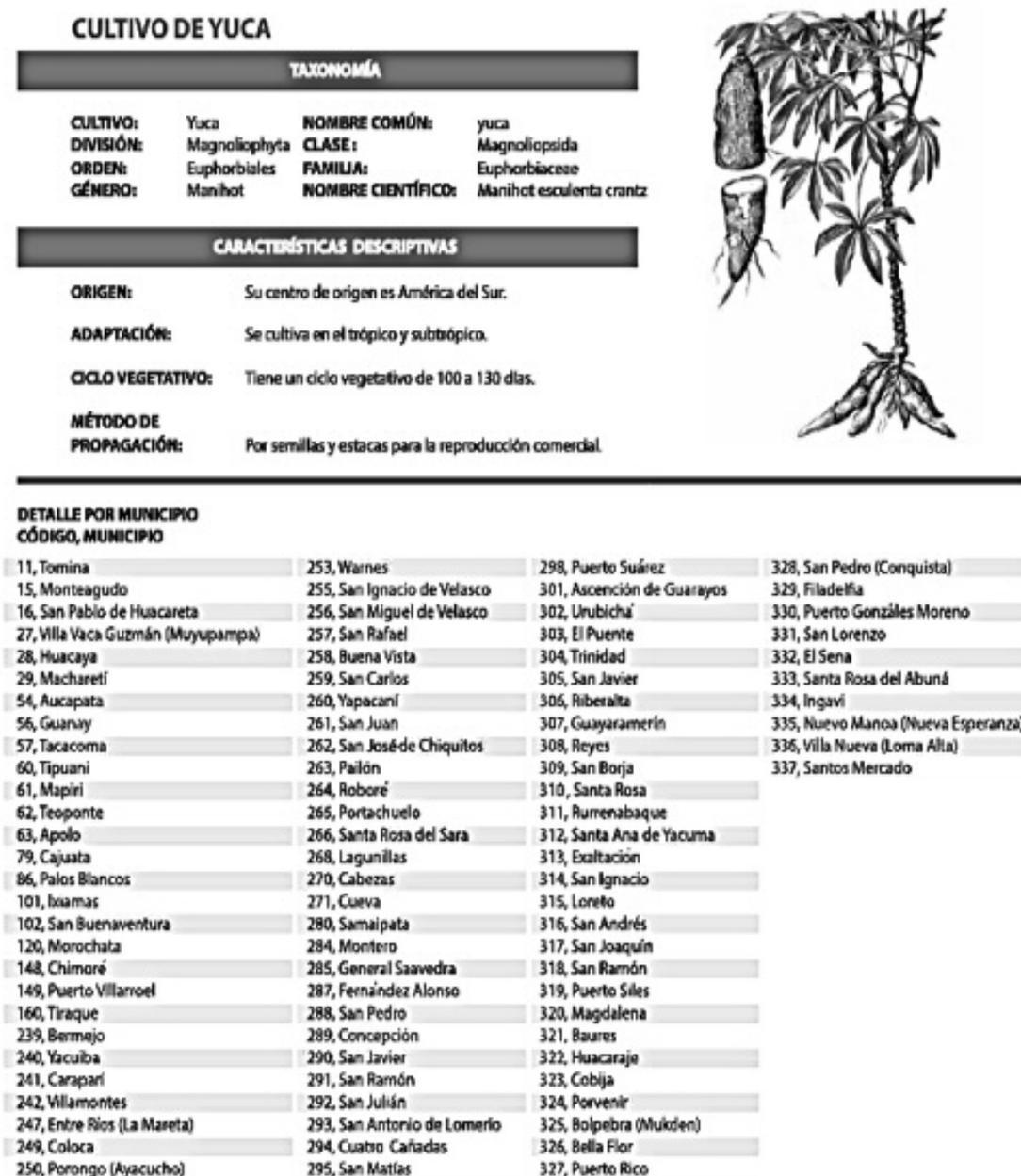
1.2 Época de Siembra: En el departamento de Santa Cruz la siembra se realiza entre los meses de julio a septiembre y cuando las condiciones de humedad del suelo son óptimas se realiza todo el año. En el trópico de Cochabamba la yuca se siembra entre los meses de mayo a septiembre, debido a que en estos meses las precipitaciones son bajas (1).

1.3 Densidad de Siembra: La densidad de siembra varía entre 8.333 (pl/ha) y 10.000 (pl/ha) para consumo en fresco; y para uso industrial se usa una densidad de 12.000 (pl/ha) (1).

1.4 Zonas de Cultivo: La yuca se produce en regiones tropicales como en Beni, Pando, Cochabamba, Santa Cruz, Yungas de La Paz, Tarija y Chuquisaca (Figura N° 2).



Figura Nº 2. Zonas de Cultivo en Bolivia



Fuente: (1).

Mediante el Sistema de Monitoreo Municipal Agropecuario 2012 (SiMMA), se obtuvieron los datos de producción, superficie cultivada y rendimiento en cada municipio, dando como resultado que los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz poseen la mayor cantidad de yuca cultivada en nuestro país.

1.5 Propiedades: La yuca se usa principalmente como alimento de consumo humano, debido a su volumen y perecibilidad, generalmente se consume in situ o cerca del lugar de producción, también cabe destacar que es un alimento completo (Tabla Nº 1)



**Tabla Nº 1. Propiedades de la Yuca**

COMPONENTES	YUCA DULCE	YUCA AMARGA
Valor Energético (Cal)	132	148
Humedad (%)	65,2	60,6
Proteína (%)	1,0	0,8
Grasa (%)	0,4	0,3
Carbohidratos totales (%)	32,8	37,4
Fibra (%)	1,0	1,0
Ceniza (%)	0,6	0,9
Calcio (mg)	40,0	36,0
Fósforo (mg)	34,0	48,0
Hierro (mg)	1,4	1,1
Vitamina A (mg)	2,0	5,0
Tiamina (mg)	0,05	0,06
Riboflavina (mg)	0,4	0,4
Niacina (mg)	0,60	0,70
Acido ascórbico (mg)	19,0	40,0
Porción no comestible (%)	32,0	32,0

Fuente: (2)

II. ALMIDÓN DE LA YUCA

El almidón puede hallarse en la naturaleza como pequeños gránulos depositados en semillas, tubérculos y raíces de distintas plantas; es una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina, cuya proporción relativa en cualquier almidón, así como el peso molecular específico y el tamaño de los gránulo, determinan sus propiedades fisicoquímicas y su potencialidad de aprovechamiento de ciertos procesos industriales (3).

El almidón de yuca tiene una amplia gama de aplicaciones en la industria de alimentos, papel, catón, textil, farmacéutica y adhesivos, entre otros. Sin embargo, la mayoría de los almidones usados en estos sectores son modificados, los cuales han sido desarrollados para reducir una o más de las limitaciones que tiene el almidón nativo para uso industrial. Las modificaciones en el almidón involucran el tratamiento del gránulo por medios físicos, químicos y bioquímicos que causan la

ruptura de algunas o todas las moléculas, lo cual permite realzar o inhibir en el almidón propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el PH y temperatura, mejorar su gelificación, dispersión o fluidez.

2.1 Almidón Agrio de Yuca: La obtención de almidón agrio o fermentado de yuca tiene las mismas etapas de producción del almidón nativo, con la diferencia de que incluye una etapa de fermentación previa al secado. Las raíces de la yuca son lavadas para eliminar tierra e impurezas y retirar la cascarilla. Luego, son ralladas para liberar los gránulos de almidón y la masa obtenida es lavada y filtrada o colada en una tela, y la lechada es decantada en canales. El almidón precipitado es traspasado a tanques donde fermenta en forma natural, en condiciones anaeróbicas, por aproximadamente 15 días y luego secado, lo que da a este almidón propiedades de expansión en el horneado (4)

III. TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN

3.1 Tamaño: El proyecto piensa cubrir el 1% de la proyección demandada inicialmente, debido a factores externos, la Tabla Nº 2 presenta la proyección de la demanda a partir de las importaciones de harina de trigo en Bolivia y cuanto pretende cubrir el proyecto presentado.

Tabla Nº 2. Producción de Kg/día

Año	Producción anual harina (Ton/año)	Producción día
		Ton/día
2014	5.419,09	21,76
2015	5.631,44	22,62
2016	5.858,61	23,53
2017	6.100,58	24,50
2018	6.357,37	25,53
2019	6.628,97	26,62
2020	6.915,39	27,77
2021	7.216,61	28,98
2022	7.532,65	30,251
2023	7.863,50	31,58

Fuente: Elaboración propia. 2014.



Mediante estos valores se hizo la selección de la maquinaria y equipos utilizados en el proceso productivo (Tabla N° 3).

Tabla N° 3. Porcentaje que cubrirá el proyecto

AÑOS	PROYECCIÓN (Ton)	PORCENTAJE QUE CUBRIRÁ EL PROYECTO (1%) (Ton métrica)
2014	541.909	5.419,09
2015	563.144	5.631,44
2016	585.861	5.858,61
2017	610.058	6.100,58
2018	635.737	6.357,37
2019	662.897	6.628,97
2020	691.539	6.915,39
2021	721.661	7.216,61
2022	753.265	7.532,65
2023	786.350	7.863,50

Fuente: Elaboración propia. 2014.

3.3 Maquinaria y Equipos: La maquinaria es un factor muy importante que se debe determinar según la capacidad instalada calculada anteriormente, la cual se detallarán a continuación:

➤ **Lavado y Pelado:** Para la selección de la máquina de lavado se tomó en cuenta la capacidad de lavado por hora, además de ser garantizada por la rapidez y la calidad de lavado.

Descripción de la máquina (Tabla N° 4 y Figura N° 3):

- Esta máquina se utiliza para limpiar y pelar patatas, zanahorias, yuca, ñame de jengibre fresco, entre otros.
- Es fácil de operar, de alta eficiencia y caja de acero inoxidable.
- Los cepillos son fáciles de ser cambiados. Las partes principales adoptan doble rodamiento.
- La suciedad y los sedimentos son eliminados con la circulación de agua.

Tabla N° 4. Especificaciones del Equipo de Lavado-Pelado

Número de Modelo	Srs-1800 maquinaria de lavado de yuca
Condición	Nuevo
Peso	600 kg
Capacidad	4800 kg/h
Voltaje	220 V, 380 V
Dimensión (L*W*H)	3050x1200x1450 mm
Material	Acero inoxidable
Energía	5kw/380v
Condiciones de pago	L/C, T/T, Western Union
Garantía	Un año
Nombre de Empresa	Henan Sunrise Import And Export Trading Co., Ltd.
Lugar de Origen	Henan, China (Continental)
Teléfono	86-371-86055679 0086-13849044466

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/multi-layer-electric-fuel-natural-gas-continuous> (consultado en 2014).

Figura N° 3. Máquina de Lavado-Pelado



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/p-detail/industrial-de-yuca-y-pelado-de-la-m%C3%A1quina-de-lavado> (consultado en 2014).

➤ **Rallado:** Se escogió la máquina presentada a continuación porque es un equipo independiente que puede adaptarse a la capacidad de materia requerida por los tubos que contiene, además tiene un precio accesible.

Descripción de la máquina (Tabla N° 5 y Figura N° 4):

- El rallador de yuca es multifuncional, puede ser utilizado para dulce de papa, la raíz de extracción de almidón.



• Alta eficiencia, el procesamiento de corto tiempo, sin destruir el almidón de las moléculas de las partículas es el agrietamiento.

Tabla N° 4. Especificaciones del Equipo de Rallado

Número de Modelo	Df-5000 maquinaria de rallado de yuca
Condición	Nuevo
Peso	750 kg
Capacidad	5000 kg/h
Voltaje	220 V, 380 V
Dimensión (L*W*H)	1900x1350x1200 mm
Material	Acero inoxidable
Energía	15 Kw
Precio	US\$ 4.300
Condiciones de pago	L/C, T/T, Western Union
Nombre de Empresa	Zhengzhou Aix Machinery Equipment Co., Ltd.
Lugar de Origen	Henan, China (Continental)
Teléfono	0086-371-55677527

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/multi-layer-electric-fuel-natural-gas-continuous> (consultado en 2014).

Figura N° 4. Máquina de Rallado

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/cheap-cassava-grater-price> (consultado en 2014).



cassava-grater-price (consultado en 2014).

➤ **Colado:** El motivo por cual se consideró la máquina presentada a continuación es porque selecciona los gránulos, es decir, que tiene tres mallas, la primera selecciona los gránulos más grandes, la segunda los medianos y la tercera los más pequeños, los mismos son los que pasarán al siguiente proceso. Se compone de motor de vibración vertical, el marco de malla, cámara de detección de goma y el anillo vibrador.

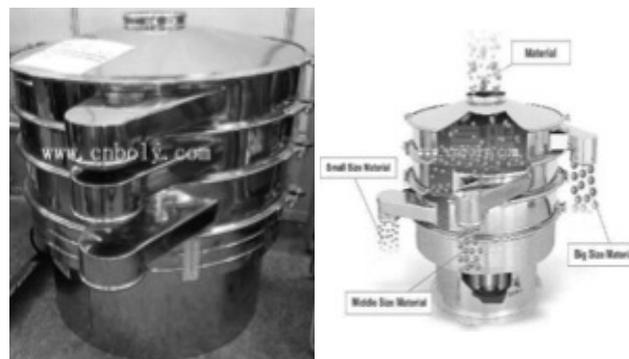
Esta máquina se puede utilizar ya sea para una sola capa o multi-capa de clasificación, que ofrece con la estructura compacta, conveniente manejar y de mantenimiento, la operación estable, bajo nivel de ruido, el manejo de grandes, pequeño tamaño y gran disponibilidad (Tabla N° 6 y Figura N° 5).

Tabla N° 6. Especificaciones del Equipo de Colado

Número de Modelo	Jb-2500 maquinaria de colado de almidón
Condición	Nuevo
Peso	700 kg
Capacidad	3500 kg/h
Mallas de la pantalla	2-200 de malla
Vibración (fr)	1500/min
Dimensión(L*W*H)	1200*1050*1150
Material	Acero inoxidable
Potencia del motor	1.5 Kw
Precio	US\$ 6.200
Nombre de Empresa	Jiangyin Baoli Machinery Manufacturing Co., Ltd.
Lugar de Origen	Henan, China(Continental)
Teléfono	0086-0510-86391300 0086-15861656137

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/multi-layer-electric-fuel-natural-gas-continuous> (consultado en 2014).

Figura N° 5. Maquinaria de Colado



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/p-detail/seco> (consultado en 2014).

➤ **Sedimentado:** Se consideró la construcción de los canales de sedimentación debido a que es un método utilizado por varios países y recomendado por el CIAT. El equipo fue diseñado, probado y mejorado por la sección de Utilización de Yuca del CIAT, para la industria de extracción del almidón de yuca (Tabla N° 7 y Figura N° 6).



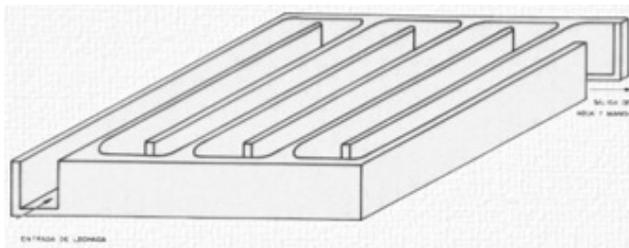


Tabla N° 7. Especificaciones de la Maquinaria de Sedimentado

CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
	30 TM/día
Número de canales	5
Longitud de cada canal (m)	50-60
Longitud total de canales (m)	105-175
Ancho de cada canal (cm)	40-60
Velocidad caudal canal (m/min)	7-10
Pendiente	1-3 cm / 150 m

Fuente: CIAT - Colombia. 2014.

Figura N° 6. Máquina de Sedimentado



Fuente: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/EQUIPOS.pdf> (consultado en 2014).

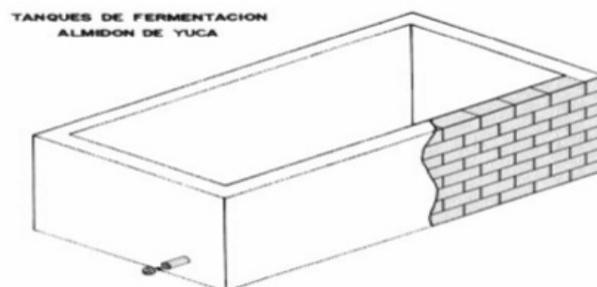
La lechada que viene de la máquina tamizadora pasa a los canales, en donde los gránulos de almidón por acción de su peso se van depositando, por el movimiento de la lechada, a través de los canales. En la etapa final, el agua sale con muy poco almidón a depositarse en el tanque de sedimentación; el almidón recogido en los canales pasa luego a las bandejas o patios para su posterior secado.

Los canales pueden ser construidos de cemento y cubiertos de baldosas en porcelana o de madera. Pueden ser totalmente planos o presentar una ligera pendiente de hasta 1-3 centímetros cada 150 metros, y al final de cada tramo pueden tener curvas o ser rectos. Se construyen al mismo nivel o inferior al de los tanques de fermentación. El diseño puede variar de acuerdo a la capacidad de producción y tamaño de la planta. A continuación se ofrecen medidas para dos distintas capacidades.

➤ **Fermentación:** De la misma forma que los canales de sedimentación, se consideró la construcción de los tanques de fermentación debido a que es un método utilizado por varios países. El equipo fue diseñado, probado y mejorado por la sección de Utilización de

Yuca del CIAT, para la industria de extracción del almidón de yuca (Figura N° 7).

Figura N° 7. Maquinaria de Fermentación



Fuente:

<http://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/EQUIPOS.pdf> (consultado en 2014).

La lechada que viene de la máquina coladora o de la máquina tamizadora oscilatoria contiene los gránulos de almidón, proteínas y fibra fina. Esta lechada cae al tanque y se deja en reposo durante un período de tiempo, en el cual se separan los gránulos de almidón del resto de componentes mediante sedimentación. Entre 3 y 4 horas después de haberse depositado el material en el tanque, aparece sobre el sedimento una capa gelatinosa de color amarillento llamada mancha la cual es evacuada; el almidón sedimentado se recoge. La lechada dentro del tanque permite la descomposición enzimática y el proceso de fermentación del almidón.

Las dimensiones varían dependiendo de la capacidad de producción y del volumen de producto generado en la planta. Las medidas estándares son: 1,4 metros de largo; 1,4 m de ancho; y 1,2 m de alto.

La estructura del tanque es de ladrillo repellado con cemento, se requiere que la superficie interior del tanque sea lisa. Para ello, los materiales utilizados varían: baldosa de porcelana, madera u otras, según presupuestos, gustos y preferencias.

La lechada permanece en reposo, pero la superficie del fondo debe tener una pequeña pendiente para evacuar el agua sobrenadante después de cada jornada.

➤ **Secado:** Se seleccionó la maquinaria presentada a continuación debido a que garantiza el secado de la harina, ya que el secado es continuo, además que tiene un punto de control para la regulación de la temperatura. La máquina es multi-capa incluye 3, 5, 7 y 9 capas de secado continuo, utilizado para snacks infla-





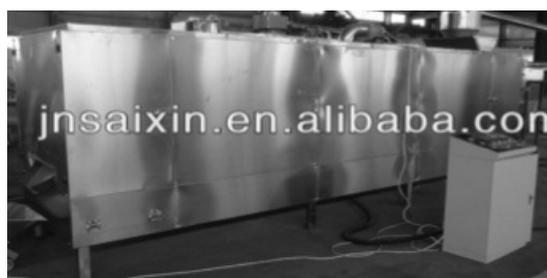
dos, almidón modificado, alimentos para mascotas y polvo nutricional, entre otros. Los parámetros para cinco-horno de capa generan un consumo eléctrico de 40.8kw (Tabla N° 8 y Figura N° 8).

Tabla N° 8. Especificaciones de la Maquinaria de Secado

Número de Modelo	Sxd maquinaria de secado continuo
Condición	Nuevo garantía 1 año
Peso	2000 kg
Capacidad	1000 kg/h
Uso	Productos diferentes de alimentos
Voltaje	380 V, 50 Hz
Dimensión (L*W*H)	5200x1350x2300 mm
Material	Acero inoxidable
Energía (W)	40.8 kw
Condiciones de pago	L/C, T/T, Western Union
Nombre de Empresa	Jiangyin Baoli Machinery Manufacturing Co., Ltd.
Lugar de Origen	Henan, China (Continental)
Teléfono	0086-0510-86391300 0086-15861656137

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/multi-layer-electric-fuel-natural-gas-continuous> (consultado en 2014).

Figura N° 8. Máquina de Secado



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/multi-layer-electric-fuel-natural-gas-continuous> (consultado en 2014.)

➤ **Molienda:** La máquina de molienda fue escogida por la capacidad de procesamiento y la facilidad que brinda en su diseño, ya que podemos colocar el saco en la parte de abajo para su respectivo llenado además de contener una cinta que transporta para el respectivo sellado del saco.

Esta máquina es de alta eficiencia y bajo consumo de energía, es un cono extractor y separador de cubo de buena calidad de harina. Esta maquinaria puede ser de acero o estructura multi-construcción de pisos, está diseñado por Cad Assembled, con equipos de excelente estructura razonable de fácil instalación (Tabla N° 9 y Figura N°9).

Tabla N° 9. Especificaciones de la Maquinaria de Molienda

Número de Modelo	6fts15 maquinaria de harina de trigo molido
Peso	7 t
Capacidad	2500 kg/h
Molienda de harina de proceso	3b, 1m
Voltaje	380 V, 50 Hz
Dimensión (L*W*H)	Pies 20
Nivel de ruido	Menos de 50 db
Energía (W)	60 kw
Nombre de Empresa	Jiangyin Baoli Machinery Manufacturing Co., Ltd.
Lugar de Origen	Henan, China (Continental)
Teléfono	0086-0510-86391300

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/p-detail/Molino-harinero-de-trigo> (consultado en 2014).

Figura N° 9. Maquinaria de Molido y Empaque



Fuente: <http://spanish.alibaba.com/p-detail/Molino-harinero-de-trigo> (consultado en 2914).

➤ **Material de transporte y desplazamiento de producto en proceso**

a) Transporte de materia prima

Empresa Bernad.
DK-RC Contenedores industriales, carros jaulas.
Acero inoxidable.
Cuatro ruedas.
Capacidad 1500 kg.
Condiciones de pago L/C, Western Union, Money-Gram.

b) Transporte de almidón

Carro Cutter fabricado en acero inoxidable 304, garantiza un desplazamiento seguro y sin esfuerzo.
Medidas 515x640x550 mm.
Capacidad 120 litros.



➤ Equipo de acondicionamiento

a) Ventilador: Motor directo de rotor externo protegido por termo contacto la Velocidad variable de 0-100% mediante regulador electrónico o transformador. Equilibrado según DIN 1940. Rodamientos de bolas sobre dimensionados y lubricados de por vida. Bajo nivel sonoro EQ-DQ con marco cuadrado para instalación mural- ER-DR con carcasa tubular para instalación en ducto (Tabla N° 10 y Figura N° 10).

Tabla N° 10. Especificaciones del Equipo de Acondicionamiento

Empresa	Airtécnics, Air Curtains Fans Ventilation Actuators
Modelo	EQ-DQ 400-4
Tensión V (50 Hz)	1x230 V
Intensidad A	0,95
Potencia kW	0,21
Velocidad rpm	1340
Caudal m ³ /h	4500
Presión máxima ΔPa	70
Precio US\$	539

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Figura N° 10. Ventilador



Fuente:

<http://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/EQUIPOS.pdf> (consultado en 2014).

b) Extractor: Carcasa en plástico PE, bajo demanda PP, Turbina a reacción en plástico PP equilibrada estática y dinámicamente. Motores trifásicos norma IEC. En los modelos a transmisión, motor a calcular según

el punto de trabajo, 16 orientaciones posibles (Tabla N° 11 y Figura N° 11).

Tabla N° 11. Especificaciones del equipo extractor de aire

Empresa	Airtécnics, Air Curtains Fans Ventilation Actuators
Modelo	EPND 280-2
Tensión V (50 Hz)	3x400V
Intensidad A	4,70
Potencia kW	2,20
Velocidad rpm	2870
Caudal m ³ /h	6800
Presión máxima ΔPa	1700
Precio US\$	1432

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Figura N° 11. Extractor



Fuente:

<http://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/EQUIPOS.pdf> (consultado en 2014).

➤ **Equipo de pesado:** Báscula BAXTRAN TKM-60P 35x45 monocélula completa con plataforma, columna y visor (Figura N° 12).

- Empresa Bernard Equipamiento industrial alimenticia
- Célula de aluminio IP65.
- Plato de acero inoxidable de 350 x 450 mm.
- Columna para el indicador.
- Indicador BR80 IP54. Con batería interna recargable 6 Vdc.
- Pantalla LED de color rojo.
- Alimentación mediante adaptador de red.
- Función cuenta piezas y función de límites.
- Capacidad: 60 kg.
- Precio US\$ 206.

**Figura N° 12. Equipo para pesado**

Fuente:

<http://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/EQUIPOS.pdf> (consultado en 2014).

3.4 Localización

➤ **Análisis preliminar de los factores para la selección de la localización:** Para el análisis preliminar debemos establecer factores externos que tengan un impacto sobre las decisiones de localización de la planta productora de harina de yuca, los cuales se detallarán a continuación:

- **Disponibilidad de materia prima:** este factor es importante debido al tiempo que se demorará para el abastecimiento, el costo que implicará el transporte y los volúmenes grandes que se deberán transportar.

- **Mercado objetivo:** Se enfoca a la cercanía a mercados populares para su comercialización.

- **Calidad de vida y Servicios básicos:** Se orienta en el entorno social en el que nos desenvolvemos y el acceso a los servicios básicos, debido a las exigencias que requiere el proceso productivo tanto para el medio ambiente como para el personal.

- **Mano de obra:** Trata la disponibilidad de mano de obra, es decir, que el personal operativo deberá vivir por lugares aledaños a nuestra planta, para no incurrir en costos de transporte o viáticos.

- **Los medios de transporte:** Engloba todos los costos de transporte para la materia prima, personal operativo y comercialización del producto, como también la cercanía a accesos a vías de flujo vehicular.

- **Las condiciones climatológicas de la zona:** Es importante este factor debido a que afecta de forma directa con la conservación del producto y a la comodidad del personal.

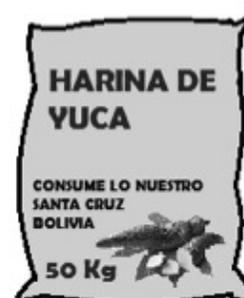
- **Los terrenos y la construcción:** Hace énfasis a la

disponibilidad de los terrenos, las limitaciones de construcción para una posible ampliación y los costos que implica la compra de los terrenos.

➤ **Selección de la localización:** Mediante el método de factores ponderados se escogió la zona potencial donde se ubicará de la planta productora de harina, siendo ésta el Parque Industrial Latinoamericano con 8,68 pts., debido a los beneficios y comodidades que ofrece para no incurrir en costos elevados, como el acceso a todos los servicios que se adquirirán.

IV. INGENIERÍA DEL PROYECTO

El producto será comercializado en los departamentos de Santa Cruz, Cochabamba y La Paz con una presentación de 50 kg, inicialmente se cubrirá el 1 % de toda la proyección de la demanda, debido a la limitación de la materia prima. El cual cumplirá con las la Norma CODEX para harina de yuca comestibles, a fin de ofrecer un producto inocuo y de calidad, además tendrá un precio accesible para el mercado (Figura N° 13).

Figura N° 13. Presentación del Producto

Fuente: *Elaboración propia. 2014.*

Cabe resaltar que la mayor parte del producto se transportará al departamento de La Paz, debido al mayor tiempo de conservación por el clima frío que caracteriza al departamento. Su comercialización estará acompañada de publicidad en canales de televisión, radio y periódico, a la cual se destinó un monto de US\$ 3.500 el primer año, y posteriormente se irá incrementando.

4.1 Características del producto: El producto se elaboró de forma experimental en el departamento de La Paz, mediante el proyecto de grado "PROYECTO DE FERMENTACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA PARA LA INDUSTRIA PANIFICADORA", de Guely Bolaños Zenteno en la Universidad Mayor de San Andrés, presentado en el mes de Junio de 2014, del cual se extrajeron las propiedades y características alimenticias



del producto, de acuerdo al análisis de harina llevado a cabo en el Laboratorio de Calidad Ambiental por el Ing. Jaime C. Paniagua, dando como resultado las características del producto presentadas en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12. Propiedades de la Harina de Yuca

Parámetro	Almidón agrio 100 g
Nitrógeno total (%)	0.027
Fosforo total (mg)	1.7
Ceniza (%)	100
Potasio total (mg)	55.6
Calcio total (mg)	13.0
Magnesio total (mg)	5.7

Fuente: (5).

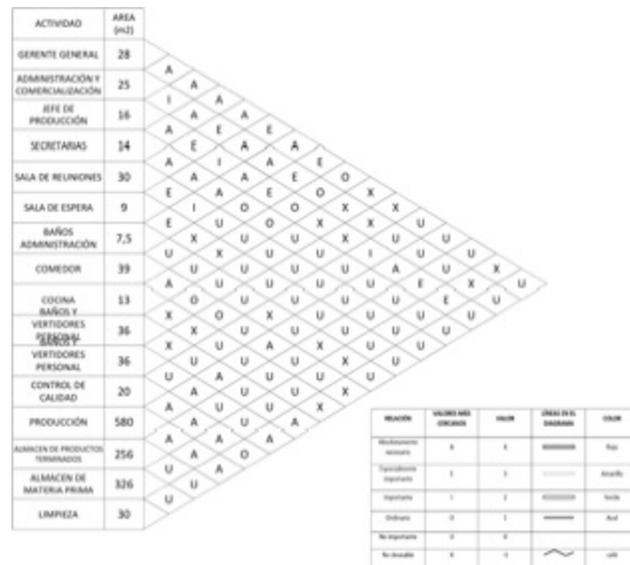
Este producto, además, de no contener gluten (principal compuesto de la harina de trigo) ofrece Potasio, Calcio, Magnesio, Fósforo y entre otros, los cuales aportan valor nutricional en las personas, siendo este un producto recomendado y al alcance de toda familia.

4.2 Diseño de la Planta de Producción: El objetivo de realizar el diseño de distribución de planta productora de harina a partir del almidón fermentado de yuca, es lograr la eficiencia mediante operaciones del proceso productivo, así como también de todas las áreas que comprende la planta, para ello se aplicarán métodos mediante diagramas para una adecuada distribución.

4.3 Distribución de Muther: El diagrama de la distribución de Muther permitirá una adecuada ubicación de todas las áreas de la planta, para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

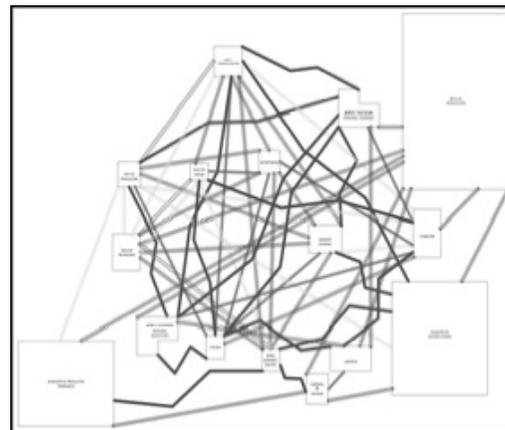
a) Diagrama de relaciones: El diagrama describe la proporción de las áreas y la interrelación entre las mismas como se muestra en el Diagrama N° 1:

Diagrama N° 1. Relaciones de la Planta Procesadora de Harina de Yuca



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Diagrama N° 2. Relaciones entrelazadas



Fuente: Elaboración propia. 2014.

b) Evaluación de alternativas y selección: Para la selección de la distribución de la planta, se diseñaron dos alternativas que cumplen las restricciones presentadas en los diagramas de relación entre actividades y áreas, considerando factores críticos que se adecuen con el grado relación de ocurrencia entre áreas (Tabla N° 13).



Tabla Nº 13. Evaluación de Alternativas

FACTOR	PESO	ALTERNATIVAS			
		1		2	
		CAL	CAL POND	CAL	CAL POND
Comunicación entre actividades	0,20	4	0,8	8	1,6
Flujo de material	0,22	7	1,54	8	1,76
Flujo de personal	0,22	6	1,32	6	1,32
Seguridad	0,17	5	0,85	9	1,53
Control de actividades	0,19	6	1,14	7	1,33
TOTAL	1		5,85		7,54

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Al evaluar las dos alternativas, la que beneficia a las actividades desarrolladas es la alternativa 2, esto se ve reflejado en todos los factores considerados, obteniendo los valores más elevados en los factores: Flujo de materiales, Comunicación entre actividades y Seguridad del personal. El terreno donde se construirá la planta será en el municipio de Warnes (Parque industrial Latinoamericano) el terreno tendrá una extensión de 3.480 m² y el costos por m² es de US\$. 20 (Figura Nº 14).

Figura Nº 14. Alternativa 2 – Distribución de planta



Fuente: Elaboración propia. 2014.

c) Descripción del Flujo de Proceso

- **Recepción de materia prima:** Esta etapa se realiza con el fin de seleccionar las raíces en buen estado y eliminar las que se encuentren dañadas, es importante esta operación porque es el inicio de un producto de calidad.

- **Almacén y dosificado de lotes:** Debe ser almacenado en condiciones adecuadas, para el mantenimiento de materia prima se recomienda 15°C para su conservación, además que éste debe ser dosi-

ficado para los diferentes lotes, cabe resaltar que cada lote será de 1.320 kg de yuca aproximadamente.

- **Lavado y pelado:** Elimina la tierra y las impurezas adheridas a las raíces. La cascarilla se desprende por fricción de unas raíces con otras durante el proceso de lavado. Este proceso se realiza en una máquina especial para el lavado y pelado de yuca, ya que tiene cepillos rotatorios que hacen fricción con el tubérculo, luego estos son conducidos mediante un canal al rallado.

- **Llenado de recipiente móvil con yuca pelada y limpia:** Una vez lavado y pelado estas raíces son depositadas en un recipiente con capacidad de 1500kg e inspeccionado por control de calidad luego será transportado a la operación de rallado.

- **Rallado o desintegración:** En el rallado se liberan los gránulos de almidón contenidos en las células de la raíz, puesto que al tener mayor superficie de contacto para la liberación de almidón, se tendrá mejor rendimiento. La eficiencia de esta operación determina el rendimiento de almidón en el proceso de extracción. Debido a que si el rallado es demasiado fino, los gránulos muy pequeños de almidón sufren daño físico y en el transcurso del tiempo un deterioro enzimático; la sedimentación sería más lenta ya que el gránulo fino pierde densidad y además se formaría mayor cantidad de mancha (6).

- **Colado o extracción:** En esta etapa se realiza la separación de la pulpa o material fibroso de la lechada de almidón. Se debe evitar que pequeñas partículas de fibra pasen a la lechada de almidón; es por ello que hay un control de calidad, inspeccionando la masa rallada y colada, en muchos casos se recomienda realizar un recolado de la lechada, con el objeto de retener las fibras finas que pudieron pasar por la lechada.

- **Sedimentación:** Cuando la lechada de yuca rallada del tamizado contiene almidón, fibra fina y material proteico en suspensión, el almidón se sedimenta en canales diseñados para esta operación según la capacidad de producción, donde se separa el componente más denso, es decir, el almidón cuyos gránulos de 10.4 µm aproximadamente se sedimentan en el fondo. El recipiente de sedimentación se convierte en un punto crítico del proceso, porque permite que se mezcle el almidón con la mancha. Las aguas residuales que contienen la mancha más agua el cual se considera un subproducto, debido a que se obtiene almidón de baja densidad y poca calidad, su nivel de proteínas es elevado.



La mancha se emplea para alimentación de porcinos y en la elaboración de adhesivos.

- **Fermentación:** El almidón sedimentado se coloca en los tanques de fermentación diseñados por el CIAT, donde se le agrega una capa delgada de agua y se conserva un determinado tiempo, éste puede ser variable según las condiciones climáticas de la zona. Los tanques están dimensionados y cubiertos con madera en su interior.

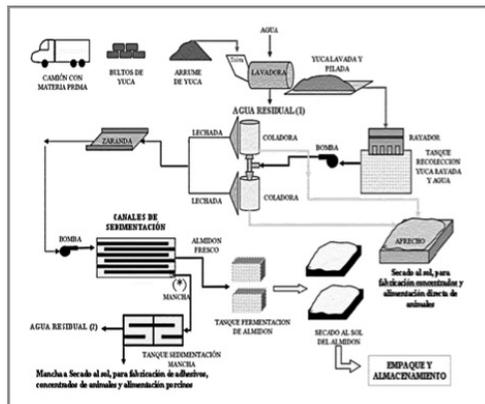
- **Secado:** El secado se realiza en un secador eléctrico, el cual se utiliza para todo tipo de aperitivos alimenticios. El usuario puede elegir diferentes tipos de secador de capa diferente, la longitud o la energía. La humedad del producto final es de 12 a 14% en base húmeda, el cual pasará por control de calidad, además que esta etapa del proceso demorará 2 horas de secado por lote.

- **Molienda:** La molienda se realiza en una máquina que granulará la masa seca, cuya máquina consiste en un cono que extrae cubos de buena calidad de harina.

- **Envase y almacén:** El envase se hace en saquillos, los cuales son cerrados inmediatamente por una máquina.

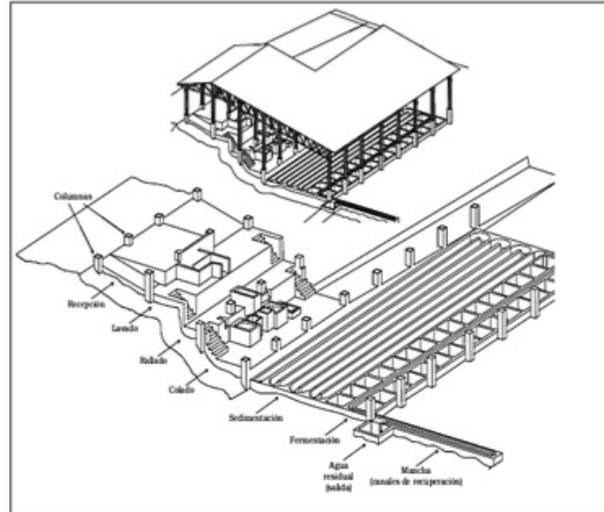
Por último, el almacenamiento debe ser realizado en un ambiente sin humedad debido a que la harina la absorbe fácilmente y cumplirá los estándares que exige la Norma del CODEX para la harina de yuca comestible establece.

Figura Nº 15. Proceso de Elaboración de Harina de Yuca



Fuente: (3).

Figura Nº 16. Flujo del agua residual



Fuente: (4).

d) Evaluación económico-financiera

- **Estructura de costos:** En la estructura de costo se define qué costos deben ser tomados como fijo y variable, esta determinación es importante para el cálculo del costo unitario, precio de venta y punto de equilibrio (Tablas Nº 14, 15 y 16).

Tabla Nº 14. Costos Fijos

Estructura de costos (US\$)			
DETALLE	2014	2015	2016...
Costo de Mano de Obra Indirecta	148.183,76	148.183,76	148.183,76
Servicios básicos (Luz y gua)	5.016,93	5.016,93	5.016,93
Materiales de oficina	3.200	3.200	3.200
Costos de promoción y publicidad	3.500	3.500	3.500
Depreciación de Activos	42.958,44	42.958,44	42.958,44
Mantenimiento	2.812	2.812	2.812
Costo financiero	567.991,70	567.991,70	567.991,70
Otros costos	4.700	4.700	4.700
COSTO FIJO TOTAL	778.362,8	778.362,8	778.362,8

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla N° 15. Costos Variables

Estructura de costos (US\$)			
DETALLE	2014	2015	2016
Costo de Mano de Obra directa	44.230	44.230	44.230
Servicios básicos (Luz y Agua)	37.417,90	38.797,66	40.273,72
Materia Prima	2.679.696,16	2.784.701,40	2.897.034,82
TOAL COSTO VARIABLE	2.761.344,06	2.867.729,06	2.981.538,54

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Tabla N° 16. Costo Total

Estructura de costos (US\$)			
DETALLE	2014	2015	2016
COSTO TOTAL	3.539.706,89	3.646.091,89	3.759.901,37

Fuente: Elaboración propia.2014.

- **Costo unitario:** Es importante conocer el costo en el cual se incurrirá para la producción de la harina de yuca, mediante los datos obtenidos anteriormente podemos calcular el costo unitario proyectado a 10 años aplicando la siguiente fórmula (Tabla N° 17):

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costo Total}}{\text{Cantidad a producir}}$$

Tabla N° 17. Costo Unitario

Estructura de costos (US\$)		
DETALLE	2014	2015
Costo total (US\$)	3.539.706,8	3.646.091,8
	g	g
Cantidad a producir (Kg)	5.419.090	5.631.440
COSTO UNITARIO (US\$)	0,65	0,65

Fuente: Elaboración propia. 2014.

Podemos observar que el costo unitario disminuye, esto es debido a que la cantidad a producir aumenta considerablemente, teniendo un costo inicial de 0,65 (US\$/kg).

- **Precio unitario:** Se determina a través de las siguientes fórmulas:

$$\text{Precio de Venta} = \frac{\text{Costo Total Unitario}}{1 - \text{margen utilidad}}$$

$$\text{Precio de Venta} = 0,65 \frac{\text{\$us}}{\text{kg}} \div 1-0.15$$

$$\text{PV} = 0,76 \frac{\text{\$us}}{\text{kg}} \cong 5.29 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}$$

El cálculo se realizó en kilogramos, debido a que la información recabada para el proyecto se hizo en base a esta unidad, pero debido a que este producto se comercializará en el mercado, se estableció el precio del producto en la presentación de 50 kg, siendo el mismo de Bs. 265.

- **Punto de equilibrio:** El cálculo del punto de equilibrio es importante, debido a que nos indica cuanto debemos fabricar para no incurrir en pérdidas y se calcula con las siguientes fórmulas (Tabla N° 18):

$$\text{PE}(\text{Cant}) = \frac{\text{Costo Fijo}}{\frac{\text{Precio de venta} - \text{Costo Variable}}{\text{Cantidad a producir}}}$$

$$\text{PE}(\text{\$us}) = \text{Cantidad} * \text{previo de venta}$$

Tabla N° 18. Punto de equilibrio anual

Detalle	2014	2015	2016
Cantidad producida (Kg)	5.419.090	5.631.440	5.858.610
Costo Fijo (US\$)	778.362,83	778.362,83	778.362,83
Costos Variable (US\$)	2.761.344,06	2.867.729,06	2.981.538,54
Precio de Venta (US\$)	0,76	0,76	0,76
Punto de equilibrio (Kg)	3.107.964,23	3.103.959,18	3.100.005,83
Punto de equilibrio (unidades)	155.398.212	155.197.959	155.000.291
Puto de equilibrio (US\$)	5.905.132.045	5.897.522.448	5.890.011.074

e) Análisis de indicadores

- **Valor actual neto:** El cual lo calcularemos de la siguiente manera:

$$\text{VAN} = I \frac{Fi}{(1 + a)^n - 1}$$

Donde:

Fi: Flujos de caja en el periodo i.

i : 1,.....,n; número de periodos

m Tasa de interés.

n : Número de periodos o años.

Entonces:

$$VAN = 1.034.323,21$$

Como se observa, el valor calculado del VAN es positivo, el proyecto es rentable, también se puede calcular aplicando una fórmula directa en Excel (=VNA).

- **Tasa interna de retorno:** Como se mencionó anteriormente, estos indicadores pueden ser calculados fácilmente en el uso de Excel, al sólo introducir una fórmula, de la cual se hizo uso para el proyecto, obteniendo el cálculo de la Tasa Interna de Retorno.

$$TIR = 17,46\%$$

- **Beneficio/costo:** Se calcula mediante el uso de la fórmula mostrada a continuación:

$$B/C = \frac{\text{Flujo de caja (10 años)}}{\text{Inversión Total}}$$

$$B/C = \frac{8.933.188,39}{3.380.902,53}$$

$$\frac{B}{C} = 2,64$$

Este indicador económico representa el beneficio que existe sobre el capital total invertido para el proyecto, es decir, que por cada boliviano invertido, el beneficio es Bs. 2,64.

V. CONCLUSIONES

El proyecto de factibilidad sobre el diseño de una planta productora de harina a partir del almidón fermentado de yuca como una nueva alternativa en la industria alimenticia presenta las siguientes conclusiones:

- El proyecto fue realizado exitosamente, del cual se obtuvo toda la información requerida para llevarla a cabo, adquiriendo un conocimiento más amplio sobre las características del producto harina de yuca a partir del almidón fermentado, además de demostrar que este tubérculo puede llegar a ser explotado favorablemente para la industria alimenticia, llegando a minimizar el impacto de la escases de harina de trigo.

- Se propuso un proceso productivo según la demanda proyectada de harina de yuca y la capacidad instalada, la cual se encuentra restringida por la limitación como la materia prima, la maquinaria y los equipos diseñados para operaciones auxiliares, cuyos factores contribuyeron con el dimensionamiento de la planta.

- El dimensionamiento de la planta productora de harina de yuca, alcanza una capacidad de 68,41% el primer año, con una producción anual de 5.419.090 Kg equivalente a 108.381,80 saquillos y a 10 años de funcionamiento de la planta llegará a una capacidad de 97,71% con una producción anual de 7.863.500 Kg, equivalente a 157.270 saquillos, tomando en cuenta el dimensionamiento de la maquinaria para estas capacidades, cabe resaltar que se deberá hacer el cambio de algunas maquinarias en el noveno año de funcionamiento, es decir en el año 2023, debido a que puede producirse cuello de botella debido a que llegará a su capacidad máxima, cuyas maquinarias son: la máquina de lavado y pelado y la máquina de colado.

- La localización de la empresa es en el departamento de Santa Cruz-Bolivia, municipio de Warnes, carretera al norte, con una extensión de 3.480 m² y una distribución de planta que beneficie el flujo de materiales y la comunicación entre áreas relacionadas con los respectivos cargos ocupados.

- El producto harina de yuca tiene una presentación de 50 kg a un precio de Bs. 265, siendo éste menor al precio comercializado de harina de trigo, además que el proyecto abarcó un nuevo mercado de las personas celiacas, debido a las características y propiedades del mismo presentadas en el proyecto.

- Mediante el estudio económico-financiero, se determinó un capital total de inversión para el proyecto de US\$ 3.380.903, un Estado de Resultado y Flujo de Caja proyectados, donde se destacó las utilidades hasta el año 2023. Se determinó en el proyecto la factibilidad, dando como resultado ganancias a corto y largo plazo. Para el capital invertido se determinó un porcentaje por aporte propio y el restante mediante un financiamiento bancario el cual se escogió con una tasa de interés de 12% del Banco Ganadero.

- Mediante la evaluación económica-financiera, el proyecto se califica como rentable, como se pudo obtener mediante los indicadores de bondad, con un VAN igual a US\$1.034.323,21, TIR de 17,46% y un costo-beneficio de 2,64. Mediante un análisis de sensibilidad se pudo concluir que la variable más sensible es el costo de producción.

• Finalmente, se concluye que el proyecto de diseño de una planta procesadora de harina a partir del almidón fermentado de yuca, enfocado a cubrir el mercado insatisfecho generado por la insuficiente producción de harina de trigo como una nueva alternativa en la industria alimenticia es factible desde el punto de vista económico, financiero y técnico.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fortaleza en todo el transcurso de mi vida, por guiar mi camino y hacer realidad este sueño tan anhelado, ayudándome a concluir una etapa de mi vida.

A mis padre Carlos y Roxana por todo el amor, paciencia, confianza y apoyo que me brindan día a día. A mis hermanos Carlos, Alvaro y Giovanna por la paciencia, el apoyo y el cariño que me dedican.

A mi abuelo Carlos que me cuida y me protege desde el cielo, quien en vida me enseñó a luchar hasta el último momento de vida, a ser una persona agradecida, cariñosa y feliz.

A mis tíos y primos que en esta etapa de mi vida me brindaron todo el apoyo y la confianza que necesitaba.

A los Ingenieros Jesús Góngora y Mario Espinoza por guiarme y dedicar su tiempo compartiendo su sabiduría y experiencia laboral.

A Osiris Murillo por ser quien me dio fortaleza en los momentos más difíciles y por el apoyo incondicional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MINISTERIO DE DESARROLLO RURAL Y TIERRAS. Compendio Agropecuario. 2012.
- (2) FUNDACIÓN DE DESARROLLO AGROPECUARIO, INC. Guía Técnica No.31 Cultivo de Yuca – Republica Dominicana. 1997.
- (3) S. MONTOYA. Industrialización de la yuca, Obtención de almidón nativo. 2007.
- (4) ALARCÓN F., DUFOUR M. La Yuca en el Tercer Milenio, Cap 26. Almidón agro. Colombia. 1998.
- (5) ZENTENO G. Proyecto de Fermentación del Almidón de Yuca para la Industria Panificadora. Universidad Mayor de San Andrés. 2014.
- (6) CENTRO DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA TROPICAL (CIAT). 1995.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO).
- Baca, G. (5ta Ed.) Evaluación de Proyectos. McGraw Hill. Corea.

- Corporación CLAYUCA.

- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (1998). Metodología de la Investigación. Mexico, México D.F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.

- Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria Y Forestal (INIAF)

- Niebel. Freivalds. (11a Ed.). Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo. Alfaomega Grupo Editor.

- Norma del Codex para la Harina de Yuca Comestible (CODEX STAN 176-1989)

- Observatorio Agroambiental y Producción.

- Ocon, J., Tojo, G. (1980). Problemas de Ingeniería Química. Madrid, España: Aguilar.

- Periódicos La Razón y El Deber.

- Sintema de monitoreo Municipal Agropecuario (SiMMA)

- Victor Y. Cortés. Análisis Financiero y Evaluación de Proyectos. Sucre- Bolivia 2013.