

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**INGENIERÍA DE PROYECTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE LA PLANTA PILOTO PROCESADORA DE YACÓN EN LA
CIUDAD DE TARIJA**

POR:

JUDITH CAROLINA MIRANDA CONDORI

Trabajo Final de Grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

ABRIL, 2021

TARIJA – BOLIVIA

Ten fe, confía en el Señor de todo corazón y sigue adelante, pues Dios no te dará un cargo que no puedas llevar, porque él sabe hasta donde tus fuerzas llegarán.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza, mi guía, mi esperanza, mi vida, la razón de mi existir, permitiéndome concluir con esta etapa de mi vida.

A mis padres Herminia Condori y Valentin Miranda por ser mi fortaleza, mis guías, un ejemplo de vida, por la educación y amor que siempre me brindaron.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todo lo que me ha regalado, por estar a mi lado cada día guiando mis pasos, fortaleciendo mi fe, confianza y perseverancia en el camino y plan de vida que tiene para mí.

A mis padres Valentin Miranda y Herminia Condori por haberme dado la vida, su amor y apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanas Maribel Miranda, Ing. Elizabeth Miranda y a mi cuñado Ing. Pablo Arduz por todo el apoyo que me han brindado.

A mis apreciados docentes de carrera por haber contribuido en mi formación profesional.

ÍNDICE

Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	1
1.2	Análisis de involucrados para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.....	2
1.3	Árbol de problemas para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.....	4
1.4	Árbol de objetivos para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.....	5
1.5	Análisis de la situación con y sin proyecto de implementación de la planta piloto procesadora de yacón.....	6
1.6	Justificación	6
1.7	Planteamiento del problema.....	7
1.8	Objetivos	8
1.8.1	Objetivo general	8
1.8.2	Objetivos específicos	8
1.9	Formulación de la matriz de marco lógico.....	9

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Origen de los edulcorantes	11
2.2	Definición de edulcorante	11
2.3	Funciones y usos de los edulcorantes	12
2.4	Clasificación de los edulcorantes	13
2.5	Descripción de la materia prima para la obtención de edulcorante en polvo e infusión	14
2.5.1	Yacón	14
2.5.2	Cultivo del yacón	15

2.5.3	Variedades de yacón	16
2.5.4	Distribución geográfica del cultivo de yacón.....	18
2.5.5	Características fisicoquímicas del yacón.....	18
2.5.6	Fructooligosacáridos (FOS) en el yacón	20
2.5.6.1	Diferencia entre inulina y fructooligosacáridos (FOS)	21
2.5.6.2	Propiedades fisicoquímicas de los fructooligosacáridos (FOS) en el yacón.....	21
2.5.6.3	Propiedades de los fructooligosacáridos (FOS)	23
2.5.6.4	Aplicaciones de los FOS en la industria alimentaria	24
2.5.6.5	Ingesta diaria admisible de fructooligosacáridos (FOS)	24
2.5.7	Características microbiológicas del yacón	25
2.5.8	Beneficios del yacón	25
2.5.9	Aplicaciones y usos del yacón	26

CAPÍTULO III

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

3.1	Localización de la planta piloto procesadora de yacón.....	28
3.1.1	Disponibilidad de la materia prima	28
3.1.2	Evaluación y selección de la localización de la planta piloto procesadora de yacón.....	29
3.1.2.1	Evaluación y selección de la macro localización de la planta piloto procesadora de yacón	31
3.1.2.2	Evaluación y selección de la micro localización de la planta piloto procesadora de yacón	32
3.2	Tamaño de la planta piloto procesadora de yacón	34

CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE PROYECTO

4.1	Ingeniería de procesos para la planta piloto de procesamiento de yacón	36
4.2	Descripción del yacón como materia prima.....	36
4.2.1	Requisitos generales del yacón	37

4.2.2	Propiedades fisicoquímicas del yacón.....	37
4.2.3	Requisitos microbiológicos de la raíz de yacón	38
4.2.4	Almacenamiento de yacón	38
4.3	Insumos para la obtención de edulcorante en polvo	40
4.3.1	Ácido ascórbico.....	40
4.3.1.1	Efectos secundarios del consumo de ácido ascórbico.....	40
4.3.1.2	Dosis máxima aceptable de ácido ascórbico.....	41
4.3.1.3	Almacenamiento del ácido ascórbico.....	41
4.3.2	Ácido cítrico.....	41
4.3.2.1	Beneficios del ácido cítrico.....	42
4.3.2.2	Efectos secundarios del consumo de ácido cítrico.....	42
4.3.2.3	Dosis máxima aceptable del ácido cítrico.....	42
4.3.2.4	Almacenamiento de ácido cítrico.....	42
4.3.3	Maltodextrina	43
4.3.3.1	Aplicación de la maltodextrina.....	43
4.3.3.2	Efectos secundarios del consumo de maltodextrina.....	43
4.3.3.3	Dosis máxima aceptable de maltodextrina.....	43
4.3.3.4	Almacenamiento de maltodextrina.....	44
4.4	Descripción de los productos a obtener en la planta procesadora de yacón.....	44
4.4.1	Descripción del edulcorante en polvo de yacón.....	44
4.4.1.1	Propiedades fisicoquímicas del edulcorante en polvo de yacón	45
4.4.1.2	Características organolépticas del edulcorante en polvo de yacón.....	45
4.4.2	Descripción de la infusión de yacón	46
4.4.2.1	Propiedades fisicoquímicas de la infusión de yacón.....	46
4.5	Descripción de los tipos de procesos existentes para obtener edulcorante en polvo de yacón	46
4.5.1	Tipos de procesos de concentración de extracto de fructooligosacáridos de yacón	47

4.5.1.1	Concentración por ósmosis directa	47
4.5.1.2	Evaporación a presión atmosférica	47
4.5.1.3	Evaporación al vacío	48
4.5.1.4	Concentración por ultrasonido de alta intensidad	48
4.5.2	Tipos de procesos de secado del extracto concentrado de fructooligosacáridos de yacón	49
4.5.2.1	Liofilización	49
4.5.2.2	Secado por atomización	49
4.5.2.3	Centrifugación.....	49
4.5.3	Selección de los procesos más significativos para la obtención del edulcorante en polvo de yacón	50
4.5.3.1	Selección del proceso para realizar la operación de concentración	50
4.5.3.2	Selección del proceso para realizar la operación de secado.....	51
4.6	Selección del nivel de automatización de los procesos productivos de obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	52
4.7	Diagrama de flujo del proceso de obtención de edulcorante en polvo ..	53
4.7.1	Descripción del proceso de obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	55
4.8	Diagrama de flujo del proceso de obtención de infusión de yacón	62
4.8.1	Descripción del proceso de obtención de infusión de yacón	63
4.9	Diagrama de procesos para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	64
4.9.1	Diagrama de operaciones de la obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	65
4.9.2	Diagrama de operaciones de la obtención de infusión de yacón	66
4.10	Balance de materia de la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	67
4.10.1	Consideraciones para realizar el balance de materia del edulcorante en polvo e infusión de yacón	67
4.10.2	Balance de materia de obtención de edulcorante en polvo de yacón	68

4.10.3	Balance de materia de obtención de infusión de yacón	69
4.11	Selección de la maquinaria para la elaboración de edulcorante en polvo de yacón.....	70
4.11.1	Selección	71
4.11.2	Lavado y desinfección.....	71
4.11.3	Escaldado térmico	72
4.11.4	Extracción de zumo.....	73
4.11.5	Extracción sólido-líquido	74
4.11.6	Concentración	75
4.11.7	Secado	76
4.11.8	Maquinaria a emplear para la elaboración de edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	77
4.12	Requerimiento de personal.....	78
4.13	Impacto Ambiental.....	80
4.14	Programa de producción	82
4.15	Proveedores de materia prima e insumos.....	82
4.16	Requerimiento de materia prima e insumos.....	83
4.17	Servicios básicos.....	85
4.17.1	Requerimiento de energía eléctrica	85
4.17.2	Requerimiento de agua potable.....	85
4.17.3	Requerimiento de gas	87
4.18	Servicios auxiliares	87
4.19	Selección del proceso productivo de la planta piloto procesadora de yacón.....	87
4.20	Distribución de planta.....	89
4.20.1	Planteamiento general para el estudio de la implantación de la distribución de planta.....	90
4.20.2	Distribución en planta en forma de U.....	91
4.20.2.1	Ventajas de la distribución en planta en forma de U.....	91

4.21	Estimación de la superficie requerida para las áreas relacionadas con el proceso de producción de la planta piloto procesadora de yacón.....	92
4.22	Layout de procesos y de equipos de la planta piloto procesadora de yacón.....	94

CAPÍTULO V

COSTOS DEL PROYECTO

5.1	Costo de inversión en la adquisición de activos fijos de la planta procesadora de yacón.....	98
5.1.1	Costo de inversión en terreno y obra civil para la planta piloto procesadora de yacón.....	98
5.1.2	Costo de inversión en maquinaria, equipos y materiales para la planta piloto procesadora de yacón.....	98
5.1.3	Costo de inversión en instrumentos de laboratorio y materiales para la planta piloto procesadora de yacón.....	100
5.1.4	Costo de inversión en el mobiliario y equipo de oficina para la planta procesadora de yacón.....	100
5.1.5	Resumen del costo total de inversión en activos fijos para la planta piloto procesadora de yacón.....	101
5.1.6	Depreciación de activos fijos	101
5.2	Costos de producción del edulcorante en polvo e infusión de yacón .	102
5.2.1	Costos directos de fabricación para la obtención de edulcorante e infusión de yacón.....	102
5.2.1.1	Costo de materia prima e insumos directos para la obtención de edulcorante e infusión de yacón	102
5.2.1.2	Costo de mano de obra directa para la obtención de edulcorante e infusión de yacón.....	104
5.2.2	Costos indirectos para la obtención de edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	105
5.2.2.1	Costo de materiales indirectos para la obtención del edulcorante en polvo	106

5.2.2.2	Costo de mano de obra indirecta para la obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón	106
5.2.2.3	Costo del consumo de energía eléctrica para la obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	108
5.2.2.4	Costo del consumo de agua potable en el proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	110
5.2.2.5	Costo del consumo de gas natural en el proceso productivo de obtención del edulcorante en polvo de yacón.....	111
5.2.3	Resumen del costo unitario y costo total de producción para la obtención edulcorante en polvo e infusión de yacón.....	112

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	115
6.2	Recomendaciones.....	117

BIBLIOGRAFÍA	119
---------------------------	-----

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Análisis de involucrados para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.....	3
Tabla 1.2	Análisis de la situación con y sin proyecto de implementación de la piloto planta procesadora de yacón	6
Tabla 1.3	Matriz de marco lógico para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón.....	9
Tabla 2.1	Clasificación de los edulcorantes por su origen y contenido calórico.....	14
Tabla 2.2	Variedades de yacón.....	17
Tabla 2.3	Composición fisicoquímica del yacón	19
Tabla 2.4	Composición relativa de carbohidratos en el yacón.....	19
Tabla 2.5	Valor calórico y poder edulcorante de los FOS y otros edulcorantes	22
Tabla 3.1	Producción anual de yacón en el departamento de Tarija.....	29
Tabla 3.2	Zonas productoras de yacón en el departamento de Tarija.....	29
Tabla 3.3	Selección de la macro localización de la planta piloto procesadora de yacón.....	31
Tabla 3.4	Selección de la micro localización de la planta piloto procesadora de yacón.....	33
Tabla 3.5	Capacidad de producción de la planta piloto de procesamiento de yacón.....	35
Tabla 4.1	Requisitos de composición química proximal de las raíces de yacón.....	37
Tabla 4.2	Requisitos del contenido de carbohidratos de las raíces de yacón.....	38
Tabla 4.3	Requisitos microbiológicos de las raíces de yacón.....	38

Tabla 4.4	Propiedades fisicoquímicas del edulcorante de yacón.....	45
Tabla 4.5	Características organolépticas del edulcorante de yacón.....	45
Tabla 4.6	Propiedades fisicoquímicas de la infusión de yacón.....	46
Tabla 4.7	Selección del proceso de concentración del extracto de fructooligosacáridos.....	50
Tabla 4.8	Selección del proceso de secado del extracto concentrado de fructooligosacáridos.....	51
Tabla 4.9	Nivel de automatización a emplear en el proceso productivo de elaboración del edulcorante en polvo de yacón.....	52
Tabla 4.10	Nivel de automatización a emplear en el proceso productivo de elaboración de infusión de yacón.....	53
Tabla 4.11	Consideraciones para realizar el balance de materia del edulcorante e infusión de yacón.....	67
Tabla 4.12	Ponderación de los factores a evaluar en la selección de la maquinaria.....	70
Tabla 4.13	Matriz de decisión de la maquinaria para la selección de la materia prima.....	71
Tabla 4.14	Matriz de selección de la máquina de limpieza y desinfección.....	72
Tabla 4.15	Matriz de selección del equipo de escaldado térmico.....	73
Tabla 4.16	Matriz de selección de la máquina extractora de zumo.....	74
Tabla 4.17	Matriz de selección del equipo de extracción sólido-líquido.....	75
Tabla 4.18	Matriz de selección del equipo de concentración.....	76
Tabla 4.19	Matriz de selección del equipo de liofilización.....	77
Tabla 4.20	Maquinaria a emplear para la elaboración de edulcorante en polvo de yacón.....	78
Tabla 4.21	Equipos a emplear para la elaboración de infusión de yacón.....	78

Tabla 4.22	Requerimiento de personal para la obtención de edulcorante en polvo.....	79
Tabla 4.23	Requerimiento de personal para la obtención de infusión.....	79
Tabla 4.24	Programa de la producción de la planta procesador de yacón.....	82
Tabla 4.25	Proveedores de materia prima e insumos para la obtención de edulcorante e infusión de yacón.....	83
Tabla 4.26	Requerimiento de materia prima e insumos para la elaboración de edulcorante en polvo de yacón.....	84
Tabla 4.27	Requerimiento de materia prima e insumos para la elaboración de infusión de yacón.....	84
Tabla 4.28	Consumo energético en la elaboración de edulcorante e infusión de yacón.....	85
Tabla 4.29	Requerimiento de agua potable en el proceso de obtención del edulcorante e infusión.....	86
Tabla 4.30	Requerimiento de gas el proceso de obtención del edulcorante de yacón.....	87
Tabla 4.31	Superficie de la sala de producción de la planta piloto procesadora de yacón.....	93
Tabla 4.32	Superficie de la planta piloto procesadora de yacón.....	94
Tabla 5.1	Costo de terreno, edificación y obra civil para la planta piloto procesadora de yacón.....	98
Tabla 5.2	Costo de maquinaria, equipos y materiales para el proceso productivo de la planta piloto procesadora de yacón.....	99
Tabla 5.3	Costo de instrumentos de laboratorio y materiales para la planta piloto procesadora de yacón.....	100
Tabla 5.4	Costo de mobiliario y equipo de oficina para la planta piloto procesadora de yacón.....	101
Tabla 5.5	Costo total de inversión en activos fijos para la planta procesadora piloto de yacón.....	101

Tabla 5.6	Depreciación de activos fijos de la planta piloto procesadora de yacón.....	102
Tabla 5.7	Costo de materia prima e insumos directos para la obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	103
Tabla 5.8	Costo de materiales directos para la obtención de infusión de yacón.....	104
Tabla 5.9	Costo de mano de obra directa para la obtención de edulcorante e infusión de yacón.....	105
Tabla 5.10	Costo de materiales indirectos para la obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	106
Tabla 5.11	Mano de obra indirecta para la obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	108
Tabla 5.12	Cálculo del costo mensual de energía eléctrica.....	109
Tabla 5.13	Costo de energía eléctrica consumida en la obtención de edulcorante en polvo.....	109
Tabla 5.14	Cálculo del costo mensual de agua.....	110
Tabla 5.15	Costo de agua en el proceso productivo de obtención del edulcorante e infusión de yacón.....	111
Tabla 5.16	Costo de gas para la obtención del edulcorante en polvo de yacón.....	112
Tabla 5.17	Costo unitario y costo total de producción del edulcorante en polvo de yacón.....	113
Tabla 5.18	Costo unitario y costo total de producción de infusión de yacón.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Árbol de problemas para la implementación de la planta procesadora de yacón.....	4
Figura 1.2	Árbol de objetivos para la implementación de la planta piloto procesadora de yacón en la ciudad de Tarija	5
Figura 2.1	Variedades de yacón.....	17
Figura 2.2	Estructura Química de los FOS	20
Figura 4.1	Diagrama de flujo del proceso de obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	54
Figura 4.2	Diagrama de flujo del proceso de obtención de infusión de yacón	63
Figura 4.3	Diagrama de operaciones de obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	65
Figura 4.4	Diagrama de operaciones de obtención de infusión de yacón.....	66
Figura 4.5	Balance de materia de obtención de edulcorante en polvo de yacón.....	68
Figura 4.6	Balance de materia de obtención de infusión de yacón.....	69
Figura 4.7	Plano de proceso de la planta piloto procesadora de yacón.....	96
Figura 4.8	Layout de equipos de la planta piloto procesadora de yacón.	97

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Especificaciones técnicas de maquinaria, equipos e instrumentos

ANEXO B Cálculo de costos

ANEXO C Tarifas de servicios básicos

ANEXO D Encuesta de aceptación de edulcorante en polvo de yacón