



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA

ELABORACIÓN DE PAN PRECOCIDO DE YUCA

(Manihot esculenta crantz)”

Tesis de grado presentado como requisito para optar por el título de

Ingeniero Agroindustrial

AUTORES: Robin Stalin Loza Flores

Edison Javier Loza Gómez

DIRECTOR: Ing. Marcelo Miranda

Ibarra-Ecuador

2007 – 2008

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

Escuela de Ingeniería Agroindustrial

“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA ELABORACIÓN DE PAN PRECOCIDO DE YUCA (*Manihot esculenta crantz*)”

Presentada al comité asesor como requisito para obtener el título de
Ingenieros Agroindustriales

APROBACIÓN

COMITÉ ASESOR:

Ing. Marcelo Miranda
DIRECTOR DE TESIS

Dra. Lucía Yépez
ASESOR

Ing. Luis Sandoval
ASESOR

Ing. Marcelo Vacas
ASESOR

**Las ideas, conceptos, cuadros, figuras y más informes que se
presentan en esta investigación son de responsabilidad de los
autores:**

Robin Stalin Loza Flores

Edison Javier Loza Gómez

DEDICATORIA:

A Dios, por esa maravillosa obra creadora de la humanidad y que gracias a él he tenido la oportunidad de compartir eventos importantes en mi vida.

A mis Abuelitos que siempre estuvieron a mi lado y desde el cielo me bendijeron en todo momento para poder salir adelante.

A mi querido Padre Jorge Rafael Loza Ortega, a mi querida y abnegada Madre Rosa Alicia Gómez Terán, a mis hermanos Alex, Robin, Cristian y Diego Loza Flores, que con su ejemplo de trabajo, responsabilidad, gran amor y respeto hacia el prójimo, supieron apoyarme y guiarme hacia el sendero del éxito.

A mis demás familiares, respetables maestros y dilectos amigos quienes con sus sabios consejos, dedicación total y entrega desinteresada confirmaron su apoyo incondicional durante mi formación personal, especialmente a mi compañera Gloria Zambrano.

EDISON LOZA GÓMEZ

La presente investigación está dedicada a mis padres Jorge Loza y Alicia Gómez que con abnegación me supieron guiar por las sendas del bien, a mi madre Hortensia Flores que a pesar de no estar a mi lado en estos momentos de felicidad me ha regalado desde el cielo su bendición.

A mi esposa bella Pilar Calupiña que siempre y en cada instante me ha brindado su comprensión, amor y consejos para triunfar y seguir adelante.

A mi hermano Edison Loza artífice verdadero de esta investigación, con su trabajo tesonero y profesional me ha ayudado a conseguir este éxito en mi carrera y formación personal.

ROBIN LOZA FLORES

AGRADECIMIENTO:

A la Universidad Técnica del Norte, espíritu efervescente de la juventud en cuyas aulas se ha formado nuestro pensamiento crítico e intelectual al servicio del pueblo.

Al Ingeniero Marcelo Miranda, Director de Tesis, por su orientación en el desarrollo de la presente investigación y por guiarnos para la culminación exitosa de nuestra profesión.

A la Doctora Lucía Yépez, Ingeniero Luis Sandoval e Ingeniero Marcelo Vacas quienes contribuyeron decididamente en la realización exitosa de esta investigación.

Al Ingeniero Marco Cahueñas, por su valioso aporte en la revisión estadística.

A la Panadería “EXTRAPAN” de manera especial al: Sr. Misael Vargas Gerente por permitirnos utilizar las instalaciones de su empresa, al Sr. Pedro Vargas Administrador y a los Señores operarios, por su

contribución desinteresada en el desarrollo experimental de la investigación.

Y, a todos los catedráticos, profesionales, compañeros y amigos que de una u otra manera contribuyeron a la realización de la presente investigación, de manera especial al Doctor José Luis Moreno e Ingeniera Guadalupe Méndez

ROBIN LOZA FLORES

EDISON LOZA GÓMEZ

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

	Pág.
1 GENERALIDADES	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Hipótesis.....	6

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 La Yuca (<i>Manihot esculenta crantz</i>).....	8
2.1.1 Descripción.....	8
2.1.2 Valor nutricional.....	9
2.1.3 Análisis de la raíz.....	10
2.1.4 Cosecha y rendimiento.....	11
2.1.5 Manejo poscosecha de la yuca.....	12
2.1.5.1 Lavado.....	13
2.1.5.2 Pelado.....	13
2.1.5.3 Troceado.....	13
2.1.5.4 Secado.....	14
2.1.5.5 Almacenado.....	14
2.1.6 Conservación de raíces frescas.....	14
2.1.7 Alternativas de procesamiento agroindustrial.....	15
2.2 El Almidón.....	16
2.2.1 Composición del almidón.....	16
2.2.2 Características del almidón de yuca.....	18
2.3 Fermentación.....	18
2.3.1 Procesos químicos en la fermentación.....	19
2.3.2 Fermentación alcohólica.....	20

2.3.3 Fermentación láctica.....	20
2.3.4 Fermentación butírica.....	21
2.3.5 Fermentación acética.....	21
2.4 El Pan.....	22
2.4.1 Contenido nutritivo del pan.....	23
2.4.2 Pan común.....	24
2.4.3 Pan especial.....	24
2.4.4 Pan precocido.....	24
2.4.5 Tecnología del pan precocido.....	26
2.4.5.1 Pesaje.....	26
2.4.5.2 Amasado.....	26
2.4.5.3 Reposo.....	26
2.4.5.4 División, boleado y formado.....	26
2.4.5.5 Fermentación.....	27
2.4.5.6 Primera cocción.....	27
2.4.5.7 Enfriamiento.....	27
2.4.5.8 Congelación.....	28
2.4.5.9 Almacenamiento.....	28
2.4.5.10 Descongelación y cocción final.....	28
2.5 Ingredientes y sus funciones.....	29
2.5.1 Harina.....	29
2.5.2 Levadura.....	29
2.5.3 Agua/Leche.....	30
2.5.4 Sal.....	30
2.5.5 Azúcar.....	31
2.5.6 Mantequilla.....	31
2.5.7 Huevo.....	31
2.6 Equipos.....	31
2.6.1 Amasadora.....	31
2.6.2 Cámara de fermentación.....	32
2.6.3 Horno.....	33
2.6.4 Congelador.....	33

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1 Caracterización del área de estudio.....	35
3.2 Materiales y equipos.....	36
3.2.1 Materias primas e insumos.....	36
3.2.2 Instrumentos y equipos para la investigación.....	36
3.3 Métodos.....	37
3.3.1 Factores en estudio.....	37
3.3.2 Tratamientos.....	37
3.3.3 Diseño experimental.....	38
3.3.4 Características del experimento.....	38
3.3.4.1 Unidad experimental.....	38
3.3.5 Análisis estadístico.....	38
3.3.5.1 Esquema de análisis de varianza.....	39
3.3.6 Variables evaluadas.....	39
3.3.6.1 Variables cuantitativas.....	39
3.3.6.2 Variables cualitativas (análisis organoléptico).....	40
3.4 Manejo específico del experimento.....	41
3.4.1 Análisis de la materia prima.....	41
3.4.1.1 Almidón.....	41
3.4.2 Análisis durante el proceso.....	41
3.4.2.1 Acidez.....	41
3.4.2.2 Producción de CO ₂	42
3.4.3 Análisis del pan precocido y del pan final.....	43
3.4.3.1 Humedad.....	43
3.4.3.2 Fibra bruta.....	43
3.4.3.3 Azúcares reductores libres.....	45
3.4.3.4 Proteína.....	45
3.4.3.5 Grasa.....	46
3.4.5.6 Cenizas.....	48

3.4.3.7 Análisis microbiológicos.....	49
3.4.3.8 Peso.....	50
3.4.3.9 Volumen.....	50
3.4.3.10 Peso específico.....	51
3.4.3.11 Análisis organolépticos.....	51
3.4.4 Elaboración de pan precocido a partir de yuca.....	52
3.4.4.1 Diagrama de bloques para la obtención de la masa de yuca.....	56
3.4.4.2 Descripción del proceso.....	57
3.4.4.3 Diagrama de bloques para elaboración de pan precocido de yuca.....	60
3.4.4.4 Proceso tecnológico.....	61

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	68
4.1 Determinación de acidez.....	68
4.2 Determinación de CO ₂	79
4.3 Determinación del peso en el pan precocido.....	90
4.4 Determinación del volumen en el pan precocido.....	94
4.5 Determinación del peso específico en el pan precocido.....	98
4.6 Determinación del peso en el pan de yuca.....	101
4.7 Determinación del volumen en el pan de yuca.....	105
4.8 Determinación del peso específico en el pan de yuca.....	109
4.9 Análisis organolépticos.....	112
4.9.1 Apreciación del color.....	112
4.9.2 Apreciación del aroma.....	114
4.9.3 Apreciación del sabor.....	116
4.9.4 Apreciación de la corteza.....	118
4.9.5 Apreciación de la miga.....	120
4.10 Determinación de los análisis físico-químicos y microbiológicos.....	122
4.11 Rendimiento.....	124
4.12 Costos de producción.....	127

CAPÍTULO V	
5 CONCLUSIONES	129
CAPÍTULO VI	
6 RECOMENDACIONES	134
CAPÍTULO VII	
7 RESUMEN	136
CAPÍTULO VIII	
8 SUMMARY	140
CAPÍTULO IX	
9 BIBLIOGRAFÍA	144
9.1 Bibliografía de texto.....	144
9.2 Bibliografía de internet.....	144
9.3 Normas.....	145
CAPÍTULO X	
10 ANEXOS	147

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 1: Tabla nutricional (por 100 g de porción comestible de yuca)...	10
Cuadro N° 2: Composición proximal de la raíz.....	11
Cuadro N° 3: Producción nacional de yuca según datos del año 2004.....	16

Cuadro N° 4: Producción de yuca en la provincia de Imbabura según datos del año 2006.....	16
Cuadro N° 5: Composición química del almidón de yuca en comparación con otros almidones.....	18
Cuadro N° 6: Valor nutricional del pan aportados por 100 g de producto.....	23
Cuadro N° 7: Localización del experimento y ubicación geográfica.....	35
Cuadro N° 8: Combinaciones entre factores.....	37
Cuadro N° 9: Esquema del ADEVA.....	39
Cuadro N° 10: Fórmulas generales para la elaboración del pan precocido.....	52
Cuadro N° 11: Fórmulas específicas para la elaboración del pan precocido....	54
Cuadro N° 12: mg H ₂ CO ₃ /100 g al inicio del proceso de fermentación.....	68
Cuadro N° 13: Análisis de varianza.....	68
Cuadro N° 14: Prueba de Tukey para tratamientos.....	69
Cuadro N° 15: mg H ₂ CO ₃ /100 g a los 10 minutos del proceso de fermentación.	70
Cuadro N° 16: Análisis de varianza.....	70
Cuadro N° 17: Prueba de Tukey para tratamientos.....	71
Cuadro N° 18: mg H ₂ CO ₃ /100 g a los 20 minutos del proceso de fermentación.	72
Cuadro N° 19: Análisis de varianza.....	72
Cuadro N° 20: Prueba de Tukey para tratamientos.....	73
Cuadro N° 21: mg H ₂ CO ₃ /100 g a los 30 minutos del proceso de fermentación.	74
Cuadro N° 22: Análisis de varianza.....	74
Cuadro N° 23: Prueba de Tukey para tratamientos.....	75
Cuadro N° 24: mg H ₂ CO ₃ /100 g a los 45 minutos del proceso de fermentación.	76

Cuadro N° 25: Análisis de varianza.....	76
Cuadro N° 26: Prueba de Tukey para tratamientos.....	77
Cuadro N° 27: mg CO ₂ /100 g al inicio del proceso de fermentación.....	79
Cuadro N° 28: Análisis de varianza.....	79
Cuadro N° 29: Prueba de Tukey para tratamientos.....	80
Cuadro N° 30: mg CO ₂ /100 g a los 10 minutos del proceso de fermentación...	81
Cuadro N° 31: Análisis de varianza.....	81
Cuadro N° 32: Prueba de Tukey para tratamientos.....	82
Cuadro N° 33: mg CO ₂ /100 g a los 20 minutos del proceso de fermentación...	83
Cuadro N° 34: Análisis de varianza.....	83
Cuadro N° 35: Prueba de Tukey para tratamientos.....	84
Cuadro N° 36: mg CO ₂ /100 g a los 30 minutos del proceso de fermentación...	85
Cuadro N° 37: Análisis de varianza.....	85
Cuadro N° 38: Prueba de Tukey para tratamientos.....	86
Cuadro N° 39: mg CO ₂ /100g a los 45min del proceso de fermentación.....	87
Cuadro N° 40: Análisis de varianza.....	87
Cuadro N° 41: Prueba de Tukey para tratamientos.....	88
Cuadro N° 42: Promedio de pesos en el pan precocido.....	90
Cuadro N° 43: Análisis de varianza.....	90
Cuadro N° 44: Prueba de Tukey para tratamientos.....	91
Cuadro N° 45: Prueba de DMS para factores.....	91
Cuadro N° 46: Promedio de volúmenes en el pan precocido.....	94
Cuadro N° 47: Análisis de varianza.....	94
Cuadro N° 48: Prueba de Tukey para tratamientos.....	95
Cuadro N° 49: Prueba de DMS para el factor A.....	95

Cuadro N° 50: Prueba de DMS para el factor B.....	96
Cuadro N° 51: Promedio de pesos específicos en el pan precocido.....	98
Cuadro N° 52: Análisis de varianza.....	98
Cuadro N° 53: Prueba de Tukey para tratamientos.....	99
Cuadro N° 54: Prueba de DMS para el factor A.....	99
Cuadro N° 55: Prueba de DMS para el factor B.....	100
Cuadro N° 56: Promedio de pesos en el pan de yuca.....	101
Cuadro N° 57: Análisis de varianza.....	101
Cuadro N° 58: Prueba de Tukey para tratamientos.....	102
Cuadro N° 59: Prueba de DMS para factores.....	102
Cuadro N° 60: Promedio de volúmenes en el pan de yuca.....	105
Cuadro N° 61: Análisis de varianza.....	105
Cuadro N° 62: Prueba de Tukey para tratamientos.....	106
Cuadro N° 63: Prueba de DMS para el factor A.....	106
Cuadro N° 64: Prueba de DMS para el factor B.....	107
Cuadro N° 65: Promedio de pesos específicos en el pan de yuca.....	109
Cuadro N° 66: Análisis de varianza.....	109
Cuadro N° 67: Prueba de Tukey para tratamientos.....	110
Cuadro N° 68: Prueba de DMS para el factor A.....	110
Cuadro N° 69: Prueba de DMS para el factor B.....	111
Cuadro N° 70: Rangos obtenidos a partir de doce tratamientos mas un testigo para la característica de color.....	112
Cuadro N° 71: Rangos obtenidos a partir de doce tratamientos mas un testigo para la característica de aroma.....	114

Cuadro N° 72: Rangos obtenidos a partir de doce tratamientos mas un testigo para la característica de sabor.....	116
Cuadro N° 73: Rangos obtenidos a partir de doce tratamientos mas un testigo para la característica de corteza.....	118
Cuadro N° 74: Rangos obtenidos a partir de doce tratamientos mas un testigo para la característica de miga.....	120
Cuadro N° 75: Análisis físico-químico y microbiológico en el pan precocido.	122
Cuadro N° 76: Análisis físico-químico y microbiológico en el pan final.....	123
Cuadro N° 77: Costos de producción del pan precocido a nivel experimental en laboratorio.....	127
Cuadro N° 78: Calificación otorgada a doce tratamientos más un testigo, de pan de yuca para la característica color.....	149
Cuadro N° 79: Calificación otorgada a doce tratamientos más un testigo, de pan de yuca para la característica aroma.....	149
Cuadro N° 80: Calificación otorgada a doce tratamientos más un testigo, de pan de yuca para la característica sabor.....	150
Cuadro N° 81: Calificación otorgada a doce tratamientos más un testigo, de pan de yuca para la característica corteza.....	150
Cuadro N° 82: Calificación otorgada a doce tratamientos más un testigo, de pan de yuca para la característica miga.....	151
Cuadro N° 83: Balance de materiales de los doce tratamientos.....	152
Cuadro N° 84: Costos de producción del pan precocido a nivel experimental en laboratorio, para los tratamientos T5, T6, T7 y T8.....	153
Cuadro N° 85: Costos de producción del pan precocido a nivel experimental en laboratorio, para los tratamientos T9, T10, T11 y T12.....	153

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1: Proporción de la molécula de amilosa.....	17
Gráfica N° 2: Fórmula estructural de la molécula de amilopectina.....	17
Gráfica N° 3: Ecuación general de la fermentación alcohólica.....	20
Gráfica N° 4: Ecuación general de la fermentación láctica.....	20
Gráfica N° 5: Ecuación general de la fermentación butírica.....	21
Gráfica N° 6: Ecuación general de la fermentación acética.....	21
Gráfica N° 7: Análisis microbiológico.....	50
Gráfica N° 8: mg H_2CO_3 /100 g al inicio del proceso de fermentación.....	69
Gráfica N° 9: mg H_2CO_3 /100 g a los 10 minutos del proceso de fermentación...71	
Gráfica N° 10: mg H_2CO_3 /100 g a los 20 minutos del proceso de fermentación 73	
Gráfica N° 11: mg H_2CO_3 /100 g a los 30 minutos del proceso de fermentación 75	
Gráfica N° 12: mg H_2CO_3 /100 g a los 45 minutos del proceso de fermentación 77	
Gráfica N° 13: Curva de producción de H_2CO_3 en el proceso de fermentación.. 78	
Gráfica N° 14: mg CO_2 /100 g al inicio del proceso de fermentación.....	80
Gráfica N° 15: mg CO_2 /100 g a los 10 minutos del proceso de fermentación... 82	
Gráfica N° 16: mg CO_2 /100 g a los 20 minutos del proceso de fermentación... 84	
Gráfica N° 17: mg CO_2 /100 g a los 30 minutos del proceso de fermentación... 86	
Gráfica N° 18: mg CO_2 /100 g a los 45 minutos del proceso de fermentación... 88	

Gráfica N° 19: Curva de producción de CO ₂ en el proceso de fermentación...	89
Gráfica N° 20: Interacción de los factores: A (% masa de yuca) y C (tiempo de precocción) para la variable peso del pan precocido.....	92
Gráfica N° 21: Promedio de pesos en el pan precocido.....	93
Gráfica N° 22: Interacción de los factores: A (% masa de yuca) y C (tiempo de precocción) para la variable volumen del pan precocido.....	96
Gráfica N° 23: Promedio de volúmenes en el pan precocido.....	97
Gráfica N° 24: Promedio de pesos específicos en el pan precocido.....	100
Gráfica N° 25: Interacción de los factores: A (% masa de yuca) y C (tiempo de precocción) para la variable peso del pan de yuca.....	103
Gráfica N° 26: Promedio de pesos en el pan de yuca.....	104
Gráfica N° 27: Interacción de los factores: A (% masa de yuca) y C (tiempo de precocción) para la variable volumen del pan de yuca.....	107
Gráfica N° 28: Promedio de volúmenes en el pan de yuca.....	108
Gráfica N° 29: Promedio de pesos específicos en el pan de yuca.....	111
Gráfica N° 30: Promedio de color.....	113
Gráfica N° 31: Promedio de aroma.....	115
Gráfica N° 32: Promedio de sabor.....	117
Gráfica N° 33: Promedio de corteza.....	119
Gráfica N° 34: Promedio de miga.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Análisis microbiológico.....	50
Figura N° 2: Análisis microbiológico.....	50
Figura N° 3: Análisis microbiológico.....	50
Figura N° 4: Análisis microbiológico.....	50
Figura N° 5: Flujograma de proceso para la determinación del rendimiento en la masa de yuca	124
Figura N° 6: Flujograma de proceso para la determinación del rendimiento en el pan precocido.....	135

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: La yuca.....	8
Fotografía N° 2: Estructura interna de la raíz.....	11
Fotografía N° 3: Deterioro fisiológico o primario en la raíz.....	12
Fotografía N° 4: Deterioro microbiano o secundario en la raíz.....	13
Fotografía N° 5: El pan.....	22
Fotografía N° 6: Equipo Fibertest.....	43
Fotografía N° 7: Equipo Soxhlet.....	46
Fotografía N° 8: Pesado de la yuca.....	57
Fotografía N° 9: Despuntado de las raíces de yuca.....	57
Fotografía N° 10: Eliminada de la corteza.....	58

Fotografía N° 11: Eliminado de venas y troceado de la yuca.....	58
Fotografía N° 12: Lavado de la yuca.....	58
Fotografía N° 13: Cocción de la yuca.....	59
Fotografía N° 14: Deformado de la yuca.....	59
Fotografía N° 15: Pesado de la masa de yuca.....	59
Fotografía N° 16: Pesado de las materias primas e insumos.....	61
Fotografía N° 17: Amasado.....	61
Fotografía N° 18: Reposo.....	62
Fotografía N° 19: División, formado y pesado 2.....	62
Fotografía N° 20: Cámara de fermentación.....	63
Fotografía N° 21: Precocción.....	64
Fotografía N° 22: Enfriado.....	65
Fotografía N° 23: Empaque.....	65
Fotografía N° 24: Congelación.....	66
Fotografía N° 25: Descongelación.....	66