

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Producción de harina de maíz nixtamalizado fortificado con *Salvia hispánica* a nivel de laboratorio


Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Julio Pablo Ortiz Del Cid para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química.

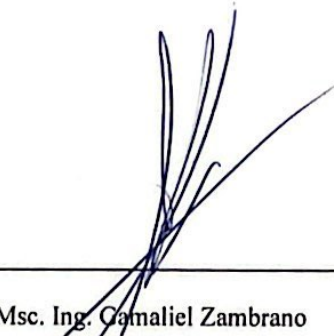
Guatemala, 2023

Vo. Bo.

(f) 
Msc. Ing. María José Ramos

Terna examinadora

(f) 
MSc. Ing. María José Ramos

(f) 
Msc. Ing. Camaliel Zambrano

(f) 
Ing. Carmen Ortiz

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de enero de 2023

PREFACIO

La elaboración del presente trabajo surgió de un interés particular ligado a mi experiencia con los patrones de conducta alimentaria. En algún tiempo mi alimentación dejó de ser sana y, poco a poco, alcancé un estado crítico de salud, con un índice de masa corporal bajo y deficiencia de nutrientes como vitaminas. Millones de personas en Guatemala comparten este problema, sin embargo, la causa es que no tienen acceso a fuentes de micro y macronutrientes adecuados para su desarrollo. El 80% de la población infantil de Guatemala tiene desnutrición según las estadísticas de la Organización de Naciones Unidas (ONU). El propósito de este estudio es fortificar harinas de maíz nixtamalizado, buscando la evaluación de fuentes proteicas vegetales que puedan ayudar a fortificar y facilitar el acceso de los guatemaltecos a micro y macronutrientes. Tener un producto que se adecúe a los patrones de consumo de la población agrícola guatemalteca, es importante; por eso se está introduciendo una semilla que no ha sido tomada en cuenta para cultivarse en el país: la *Salvia hispánica*. A raíz de esto nace la propuesta de la “producción de harina de maíz nixtamalizado fortificada con *Salvia hispánica* a nivel laboratorio”.

Yo tengo un sueño al igual que miles de guatemaltecos, pero para cumplirlo debemos de estar saludables. Espero que en algún momento 8 de cada 10 niños tengan los nutrientes necesarios para su desarrollo y que la brecha actual del acceso a fuentes de alimentación disminuya de manera significativa.

Quiero agradecer el apoyo de todas las personas que tuve a mi lado durante la elaboración del trabajo. Lo más importante de cumplir un sueño es poderlo compartir con las personas que más quieres y te inspiran a hacer algo diferente. Muchas gracias a todos por su apoyo (Vera Del Cid, mi mamá, mis abuelos, Cristy Bosque y Julio Del Cid, mis primos y primas, porque tengo la ilusión que tengan un mejor futuro, mis tíos y tías que mantienen mis pies sobre la tierra, mi asesora y catedráticos, por la paciencia que me tuvieron, mis mejores amigos, que creyeron en mí cuando yo no me creía capaz: José David, Paula Alvarez, Mariana Gall, Michelle Palacios, Christian Alvarez, Rocio Aragón, Nico Castillo, Esteban Leal, Javier Aycinena, Ernesto Caballeros, Camila González y Pedro Bran, que me devolvió las ganas de vivir).

ÍNDICE

PREFACIO.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE CUADROS.....	9
RESUMEN.....	13
I.INTRODUCCIÓN.....	15
II.ANTECEDENTES.....	17
III.OBJETIVOS.....	18
IV.JUSTIFICACIÓN.....	19
V. MARCO TEÓRICO.....	21
VI.METODOLOGÍA.....	50
VII.RESULTADOS.....	59
VIII.ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	85
IX. CONCLUSIONES.....	90
X.RECOMENDACIONES.....	91
XI.REFERENCIAS.....	92
XII.ANEXO.....	96
XIII.GLOSARIO.....	171

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Limpiadora de maíz industrial por bandas transportadoras.....	40
Figura 2. Limpiadora de maíz industrial por gravedad.....	41
Figura 3. Sistemas de cocción de maíz industriales.....	42
Figura 4. Diagrama del secador rotatorio.....	43
Figura 5. Diagrama de envasadora vertical de harinas	46
Figura 6. Comparativa del análisis granulométrico de los molinos.....	48
Figura 7. Comparativo promedio del análisis granulométrico de los molinos	48
Figura 8. Comparativa de macronutrientes de las harinas de maíz, harina de maíz nixtamalizada y harina de maíz nixtamalizada fortificada al 40% p/p de Salvia hispánica	62
Figura 9. Comparativa de micronutrientes de las harinas de maíz, harina de maíz nixtamalizada y harina de maíz nixtamalizada fortificada al 40% p/p con Salvia hispánica	62
Figura 10. Comparativa de aporte energético de las harinas de maíz, harina de maíz nixtamalizada y harina de maíz nixtamalizada fortificada al 40% p/p con Salvia hispánica	63
Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de fortificación.....	64
Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de fortificación con recirculación en el tamizado	65
Figura 13. Diagrama de bloques y balance de masa global.....	71
Figura 14. Balance de masa de la limpieza	72
Figura 15. Balance de masa de la preparación de la solución alcalina	72
Figura 16. Balance de masa de cocción	73
Figura 17. Balance de masa del reposado	73
Figura 18. Balance de masa del filtrado.....	74
Figura 19. Balance de masa del secador rotatorio	74
Figura 20. Balance de masa de la molienda de maíz nixtamalizado	75
Figura 21. Balance de masa de la molienda de la Salvia hispánica	75
Figura 22. Balance de masa del tamizado de la harina de maíz nixtamalizado.....	76
Figura 23. Balance de masa del tamizado de la harina de Salvia Hispánica	77

Figura 24. Balance de masa del mezclado de harinas	78
Figura 25. Balance de masa del empaçado.....	78
Figura 26. Balance de energía de la cocción	79
Figura 27. Balance de energía del secador rotatorio.....	80
Figura 28. evidencia fotográfica de la preparación de solución alcalina	99
Figura 29. Evidencia fotográfica de la cocción	100
Figura 30. Evidencia fotográfica del reposado.....	101
Figura 31. Evidencia fotográfica del filtrado	103
Figura 32. Evidencia fotográfica 2 del filtrado	104
Figura 33. Cambio de humedad en el tiempo promedio.....	109
Figura 34. Cambio de humedad con base en los hertz usados	109
Figura 35. Evidencia fotográfica de las mediciones de humedad (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)	113
Figura 36. Evidencia fotográfica del proceso de secado (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)	114
Figura 37. Evidencia fotográfica 2 del proceso de secado (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)	115
Figura 38. Evidencia fotográfica de la molienda.....	117
Figura 39. Evidencia fotográfica 2 de la molienda (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala).....	118
Figura 40. Curva granulométrica por pesos de los lotes de harinas	121
Figura 41. Curva granulométrica por porcentajes de los lotes de harinas.....	122
Figura 42. Curva granulométrica promedio por pesos del tamizado de la molienda de maíz nixtamalizado	123
Figura 43. Curva granulométrica promedio por porcentaje del tamizado de la molienda de maíz nixtamalizado	123
Figura 44. Curva granulométrica del tamizado de chía	126
Figura 45. Curva granulométrica por porcentajes de los lotes de harinas de Salvia hispánica	127

Figura 46. Curva granulométrica del tamizado de chía promedio	128
Figura 47. Curva granulométrica del tamizado	128
Figura 48. Evidencia fotográfica del tamizado (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala).....	129
Figura 49. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 20 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)	130
Figura 50. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 30 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)	130
Figura 51. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 45 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)	131
Figura 52. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No .60 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala).....	131
Figura 53. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 80 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)	132
Figura 54. Evidencia fotográfica del mezclado.....	134
Figura 55. Empaque y marca del producto terminado.....	135
Figura 56. Evidencia fotográfica 1 del uso de la harina	136
Figura 57. Evidencia fotográfica 2 del uso de la harina.....	137
Figura 58. Evidencia fotográfica 3 del uso de la harina.....	137
Figura 59. Géneros de la muestra del estudio de mercado.....	154
Figura 60. Edades de la muestra.....	155
Figura 61. Consumo de tortilla.de la muestra	156
Figura 62. Consumo de harinas de la muestra	157
Figura 63. Consumo de la muestra de harinas con más nutrientes	158
Figura 64. Percepción de la muestra del consumo de nutrientes	159
Figura 65. Percepción de la muestra en el cambio del precio de tortillas con más nutrientes	160
Figura 66. Percepción de la muestra del sabor de la Salvia hispánica.....	161
Figura 67. Disposición de la muestra a comer harinas con chía	162

Figura 68. Percepción de la muestra del sabor de las tortillas con harina de maíz nixtamalizada fortificada con Salvia hispánica	165
Figura 69. Percepción de la muestra de la apariencia de las tortillas hecha con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica	166
Figura 70. Percepción del cambio de sabor e las tortillas hecha con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica contra las tortillas convencionales.....	167
Figura 71. Percepción de la muestra sobre textura de las tortillas hechas con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica.....	168
Figura 72. Percepción de la muestra del sabor de las tortillas hechas con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica.....	169
Figura 73. Percepción de la muestra del color de las tortillas con harina de maíz nixtamalizada fortificada con Salvia hispánica	170
Figura 74. Percepción de la muestra del aroma de las tortillas con harina de maíz nixtamalizada fortificada con Salvia hispánica	171

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutricional de la harina de maíz nixtamalizada.....	24
Cuadro 2. Composición nutricional de la harina de maíz.....	26
Cuadro 3. Cambio nutricional con el proceso de nixtamalización.....	28
Cuadro 4. Composición nutricional de la Salvia hispánica.....	32
Cuadro 5. Comparativa de los nutrientes de las harinas.....	34
Cuadro 6. Valores diarios de nutrientes.....	37
Cuadro 7. Molino de discos.....	47
Cuadro 8. Molino de martillos.....	47
Cuadro 9. Comparativa del molino de discos y molino de martillos.....	49
Cuadro 10. Eficiencia de la producción de harinas de los molinos.....	49
Cuadro 11. Equipos para la fortificación de maíz nixtamalizado.....	57
Cuadro 12. Reactivos.....	58
Cuadro 13. Información nutricional de la harina de maíz nixtamalizada al 40% p/p con Salvia hispánica.....	59
Cuadro 14. Información nutricional de la harina de maíz nixtamalizada.....	60
Cuadro 15. Cambios de la información nutricional en las tortillas.....	61
Cuadro 16. Claims nutricionales de la harina de maíz fortificada.....	61
Cuadro 17. Equipos del diagrama de flujo.....	66
Cuadro 18. Válvulas de diagrama de flujo.....	67
Cuadro 19. Bombas del diagrama de flujo.....	67
Cuadro 20. Tanques del diagrama de flujo.....	68
Cuadro 21. Descripción de flujos.....	69
Cuadro 22. Costos de la producción de harina.....	80
Cuadro 23. Precios estimados para la harina de maíz fortificada y su mercado potencial (presentación pequeña).....	81
Cuadro 24. Precios estimados para la harina de maíz fortificada y su mercado potencial (presentación	

mediana)	82
Cuadro 25. Precios estimados para la harina de maíz fortificada y su mercado potencial (presentación grande).....	83
Cuadro 26. Resultados del consumo de harinas en el estudio de mercado	84
Cuadro 27. Condiciones iniciales	98
Cuadro 28. Condiciones iniciales (solución alcalina)	98
Cuadro 29. Cocción del maíz con cal para la nixtamalización	99
Cuadro 30. Reposado del maíz.....	100
Cuadro 31. Pesos de cubetas en el reposado	101
Cuadro 32. Datos originales del filtrado	102
Cuadro 33. Datos calculados del filtrado	102
Cuadro 34. Balances de masa del proceso del filtrado	103
Cuadro 35. Balance de masa del maíz nixtamalizado en el secador.....	104
Cuadro 36. Balances de masa de agua y maíz antes del secado	105
Cuadro 37. Porcentajes de humedad en el lote 1	106
Cuadro 38. Porcentajes de humedad en el lote 2	106
Cuadro 39. Porcentajes de humedad en el lote 3	107
Cuadro 40. Porcentajes de humedad en el lote 4	107
Cuadro 41. Porcentajes de humedad promedio	108
Cuadro 42. Porcentajes de humedad en el tiempo	108
Cuadro 43. Balance de masa después del secado	110
Cuadro 44. Balance de masa del maíz en el proceso de secado	110
Cuadro 45. Entalpías del maíz y el agua en el antes del proceso de secado.....	111
Cuadro 46. Entalpías del maíz y el agua en el después del proceso de secado	111
Cuadro 47. Entalpías del aire húmedo y aire seco	112
Cuadro 48. Balance de energía del secador	112
Cuadro 49. Cuantificación de combustible.....	113

Cuadro 50. Proceso de molienda del maíz.....	116
Cuadro 51. Proceso de molienda de la Salvia hispánica.....	116
Cuadro 52. Proceso del tamizado de la harina de maíz nixtamalizado	119
Cuadro 53. Proceso del tamizado de la harina de maíz nixtamalizado	120
Cuadro 54. Balance de masa del proceso de tamizado	121
Cuadro 55. Balance de masa del proceso de tamizado de la Salvia hispánica (lote 1)	124
Cuadro 56. Balance de masa del proceso de tamizado de la Salvia hispánica (lote 2)	125
Cuadro 57. Proceso del tamizado de la harina de Salvia hispánica.....	126
Cuadro 58. Balance de masa del proceso de tamizado de la Salvia hispánica.....	129
Cuadro 59. Balance de masa del proceso de mezclado de las harinas	133
Cuadro 60. Lotes producidos	133
Cuadro 61. Proceso de empacado.....	135
Cuadro 62. Usos de la harina para hacer tortillas	136
Cuadro 63. Comparativa del cambio en nutrientes al fortificar la harina al 40% con Salvia hispánica.	138
Cuadro 64. Porcentajes de valores diarios aportados por las harinas fortificadas y las harinas nixtamalizadas sin fortificación.	140
Cuadro 65. Porcentajes de valores diarios aportados por las harinas fortificadas y las harinas de maíz..	142
Cuadro 66. Ficha técnica de la lavadora de flotación	144
Cuadro 67. Ficha técnica del tanque de agitación	145
Cuadro 68. Ficha técnica del tanque de agitación.....	146
Cuadro 69. Ficha técnica del tanque de reposado y filtrado.....	147
Cuadro 70. Ficha técnica del secador rotatorio	148
Cuadro 71. Ficha técnica del molino de martillos.....	149
Cuadro 72. Ficha técnica de la tamizadora.....	150
Cuadro 73. Ficha técnica del mezclador cilíndrico	151
Cuadro 74. Ficha técnica del mezclador cilíndrico	152
Cuadro 75. Género en el estudio de mercado.....	154

Cuadro 76. Edades en el estudio de mercado.....	155
Cuadro 77. Consumo de tortillas.....	156
Cuadro 78. Consumo de harinas.....	157
Cuadro 79. Percepción del consumo de harinas con más nutrientes.....	158
Cuadro 80. Percepción de la preocupación por el acceso a nutrientes.....	159
Cuadro 81. Disponibilidad de aumentar el pago por el consumo de nutrientes.....	160
Cuadro 82. Percepción del sabor de la Salvia hispánica.....	161
Cuadro 83. Percepción del consumo de harinas de maíz fortificadas con Salvia hispánica.....	162
Cuadro 84. Benchmark del precio de mercado de la harina de maíz nixtamalizada.....	164
Cuadro 85. Gramaje de las presentaciones de harinas de maíz nixtamalizadas.....	164
Cuadro 86. Percepción del color de las tortillas con harina de maíz nixtamalizado fortificado con Salvia hispánica.....	165
Cuadro 87. Percepción de la apariencia de la tortilla.....	166
Cuadro 88. Percepción del cambio de sabor de las tortillas hecha con harina de maíz nixtamalizado fortificado con Salvia hispánica, contra las tortillas convencionales.....	167
Cuadro 89. Percepción de la textura de las tortillas fortificadas con Salvia hispánica.....	168
Cuadro 90. Percepción del sabor de las tortillas fortificadas con Salvia hispánica.....	169
Cuadro 91. Percepción del color de las tortillas con harina de maíz nixtamalizado fortificado con Salvia hispánica.....	170
Cuadro 92. Percepción del olor de las tortillas con harina de maíz nixtamalizado fortificado con Salvia hispánica.....	171

RESUMEN

El 90% de la población guatemalteca consume harina de maíz, El objetivo principal del presente trabajo es la producción de harina de maíz nixtamalizado, fortificando con *Salvia hispánica* para mejorar su contenido de micro y macronutrientes, al igual que el desarrollo del proceso a nivel laboratorio y la evaluación del costo con base al aumento de nutrientes. Se obtuvo que el proceso cuenta con una producción del 31% (p/p) de eficiencia para la producción de harinas en comparación al peso inicial, adicionalmente se vió un aumento en el contenido calórico y de micro y macronutrientes en la harina aumentando el contenido 2.5. g en proteínas, 10.78 g en grasas y 11.23 g en fibra dietética para una porción de 100 g. En cuanto a los micronutrientes se vió el aumento de 195.83 mg más de calcio, 289.74 mg de fósforo y 45 mg más de vitamina C por una porción de 100 g. Se concluye que hay 9 operaciones unitarias para producir harina fortificada a nivel laboratorio las cuales son: tratamientos preliminares, preparación de solución alcalina, cocción (Nixtamalización), filtrado, secado, molienda, tamizado, fortificación y empacado. Se determinó que el 82.5% del público potencial está dispuesto a pagar más por harinas con mejor calidad nutricional. Se concluye que el proceso de fortificación al 40% (p/p) con harina de *Salvia hispánica* mezclada con harina de maíz nixtamalizado es eficiente para aumentar el valor nutricional.

Palabras Clave: harina, maíz, nixtamalización, fortificación, desnutrición

ABSTRACT

90% of the Guatemalan population consumes corn flour. The main objective of this work is the production of nixtamalized corn flour, fortified with *Salvia hispanica* to improve its content of micro and macronutrients, as well as the development of the process at the laboratory level and the evaluation of costs based on the increase in nutrients. It was found that the process has a production efficiency of 31% (w/w) for flour production compared to the initial weight. Additionally, there was an increase in caloric content and in micro and macronutrients in the flour, with an increase of 2.5 g in protein, 10.78 g in fat, and 11.23 g in dietary fiber per 100 g portion. Regarding micronutrients, there was an increase of 195.83 mg more calcium, 289.74 mg of phosphorus, and 45 mg more vitamin C per 100 g portion. It is concluded that there are 9 unit operations to produce fortified flour at the laboratory level, which are: preliminary treatments, preparation of alkaline solution, cooking (nixtamalization), filtration, drying, grinding, sieving, fortification, and packaging. It was determined that 82.5% of the potential audience is willing to pay more for flours with better nutritional quality. It is concluded that the fortification process at 40% (w/w) with *Salvia hispanica* flour mixed with nixtamalized corn flour is efficient for increasing nutritional value.

Key words: flour, corn, nixtamalization, fortification, malnutrition.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de nixtamalización consiste en una cocción de los granos de maíz, donde se reposan, enjuagan y muelen para obtener una harina útil en la preparación de alimentos cotidianos en varias regiones latinoamericanas (Instituto de ecología, INECOL, 2022). Este proceso se lleva a cabo en pequeñas cantidades, normalmente de forma manual por familias rurales de escasos recursos (INECOL, 2022). Este proceso altera tanto las propiedades organolépticas como nutricionales de los productos provenientes del maíz. Entre sus beneficios se puede encontrar mayor disponibilidad de la vitamina B3, un aumento en el aporte de calcio, mayor contenido de almidón y de hierro. Otros beneficios son que ayuda al control de los microorganismos dando un mayor tiempo de uso a los derivados del proceso (Centro de mejoramiento de maíz y trigo, CIMMYT, 2021). El proceso de la nixtamalización es un proceso tradicional el cual se ha mantenido constante a través del tiempo. Nos ayuda a transformar el maíz en diferentes productos alimenticios como la tortilla de maíz la cual se consume en aproximadamente 1,804 gramos en cada hogar de 4.77 personas. El consumo promedio por persona se estima que es de 378.20 g al día (Instituto Nacional de Estadística, INE, 2020).

Guatemala es el sexto país con los índices de malnutrición más altos a nivel global y el país latinoamericano con mayor índice de malnutrición, siendo la población infantil la más afectada. Un 80% de los infantes en Guatemala forman parte de las estadísticas de malnutrición y el 49.8% de los niños se encuentra en desnutrición crónica. Las dietas actuales de los guatemaltecos y de los infantes tienen un alto consumo de tortillas de maíz (Unicef, 2022). Los problemas de malnutrición pueden llevar a enfermedades crónicas como la anemia. Uno de los principales factores por los que la población guatemalteca tiene estos índices es por la falta de acceso a nutrientes (Unicef, 2022).

Uno de los frentes que se tienen en la lucha contra la desnutrición es la fortificación de alimentos en la canasta básica. Esto se ha visto en la sal con yodo, azúcar vitaminada, harinas con hierro y vitaminas de complejo B (Unicef, 2022). El Acuerdo Gubernativo 128- 2021 hace constar que los límites mínimos legales en las harinas deben de contener la siguiente cantidad de micronutrientes: hierro (27mg/kg), tiamina (2.9mg/kg), niacina (24mg/kg), vitamina B12 (0.002mg/kg) y zinc(26mg/kg). También existen acuerdos para la fortificación de la sal con Yodo (Acuerdo Gubernativo 205-2019) y la fortificación de azúcar con vitamina A (acuerdo gubernativo 021-2000). Estos acuerdos velan por productos que ayuden a mejorar

la nutrición en Guatemala (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2021). Con base en lo anterior, el objetivo del trabajo es la producción de harina de maíz nixtamalizado, fortificando con *Salvia hispánica*, a nivel laboratorio para mejorar el contenido de micro y macronutrientes.

Para comprobar el aumento de nutrientes, existen dos valores importantes: el valor diario y el porcentaje de valor diario. El valor diario (VD) hace referencia a las cantidades recomendadas de nutrientes que se deben de consumir al día. El porcentaje de valor diario (%VD) es la contribución que tienen los alimentos a la ingesta diaria de nutrientes, esto representa la cantidad de micro y macronutrientes que se necesita consumir al día y cuánto está aportando el producto que estamos consumiendo.

II. ANTECEDENTES

Las fortificaciones con semillas de chía se han utilizado en el pasado para aumentar el contenido de proteínas y grasas en la industria de panadería. Las aplicaciones de las semillas de chía tienen el propósito de mejorar el valor nutricional de los desayunos escolares. Los estudios del pan fortificado se han realizado con diferentes formulaciones y paneles sensoriales para ver la aceptación del producto en el público objetivo. Se probaron las fórmulas de peso de chía del 2.5%, 5%, 7.5% y 10% (p/p) se determinó que la formulación con mejor aceptación en el pan es de una concentración de 2.5% (Sisa A, 2017).

La *Salvia hispánica* también se ha utilizado para la fortificación de bebidas de naranja para el aumento de proteínas. En el estudio de la fortificación de bebidas se vio que sí se logra aumentar la concentración de proteínas en un 3.91%, además se vio que en la bebida de naranja tenga como público objetivo a los infantes y jóvenes por el porcentaje actual de desnutrición en el país. Se determinó que la fortificación con *Salvia hispánica* permite al jugo de naranja mantener su alto contenido de micronutrientes en especial su concentración de vitamina C y por medio de la adición de *Salvia hispánica* aumentar su concentración de macronutrientes como proteínas y grasas (Flores, 2018).

En cuanto al uso de la *Salvia hispánica* para la fortificación de harina de maíz, se evaluó que la *Salvia hispánica* posee un alto contenido de Zinc, sin embargo, esta posee bajos contenidos de hierro. Para el aumento de contenido de hierro en la harina de maíz se determinó que una opción viable era la utilización de *Cnidioscolus aconitifolius* (Cano, 2019). En base a los antecedentes y el alto contenido de macronutrientes en la *Salvia hispánica* se busca en el presente trabajo aprovechar el contenido de Calcio, Fósforo, proteínas, grasas y fibras dietéticas para adicionarse a las harinas de maíz nixtamalizado.

III. OBJETIVOS

1. Objetivo general:

- i. Producción de harina de maíz nixtamalizado fortificando con *Salvia hispánica* para mejorar su contenido de micro y macronutrientes a nivel laboratorio.

2. Objetivos específicos:

- i. Análisis de la información nutricional de la harina de maíz y harina de maíz fortificada por medio de tablas nutricionales para comprobar el aumento de macronutrientes (proteína, grasas y las fibras dietéticas) y el aumento de micronutrientes (Calcio, Fósforo y Vitamina C) llevada a cabo a nivel laboratorio.
- ii. Propuesta de operaciones unitarias para la producción de harina de maíz fortificada con *Salvia hispánica* a nivel de laboratorio.
- iii. Análisis económico de costo beneficio de la implementación de *Salvia hispánica* en la fortificación de harina de maíz nixtamalizado a nivel laboratorio para compararlo con el costo de harina sin fortificar.

IV. JUSTIFICACIÓN

1. Planteamiento del problema

Guatemala es el país de Latinoamérica con el mayor índice de malnutrición; a nivel mundial, ocupa el sexto lugar. Esto representa una problemática en el desarrollo del país ya que su recurso humano se ve afectado por las condiciones de alimentación. Inclusive este problema es hereditario ya que las madres que se encuentran en estado de malnutrición dan luz a hijos con el mismo problema (Unicef, 2022).

Es importante que desde un punto de vista de ingeniería se puedan brindar soluciones que se acoplen a los patrones de consumo, así como, alternativas con mayores nutrientes que ayuden al desarrollo adecuado de la población. Para esto, es necesario buscar formulaciones que permitan llevar esos nutrientes a los más necesitados y encontrar procesos que se acoplen a su estilo de vida. Disminuir la brecha alimentaria es responsabilidad de todos y debería de ser uno de los principales propósitos de la ingeniería en Guatemala.

2. Justificación

En Guatemala, un 80% de los infantes forman parte del índice de malnutrición y el 49.8% se encuentran en desnutrición crónica, teniendo una dieta basada en tortillas de maíz (Unicef, 2022). Aproximadamente el 75.3% de la población rural se encuentra en pobreza general y el 40% de la población cuenta con pobreza extrema (Consejo Centroamericano de Procuradores de Derechos Humanos, 2008). Estas limitantes generan un gran impacto en la vida cotidiana y en la forma de alimentación.

La *Salvia hispánica* es una semilla con altos contenidos de grasas como pme γ 3, siendo un importante antioxidante vegetal necesario para la nutrición de las personas (Sapio, s.f). Asimismo, su contenido proteico representa un 29.2% de su peso. También posee vitaminas como el niacina, además de sus minerales que son varios tales como potasio, fósforo y magnesio, que ayudan a prevenir enfermedades como la anemia (Universidad autónoma de Guadalajara, 2017). Al fortificar la harina de maíz con la *Salvia hispánica* se puede aumentar la ingesta proteica de los guatemaltecos, en especial las personas de escasos recursos que no tienen el acceso a fuentes de proteína como carnes. En promedio una persona consume 114 kg al año de maíz, siendo un promedio de 2.3 kg por semana (ICTA, 2022). Un

guatemalteco consume alrededor de 3.8 tortillas de 35.7 g al día lo cual validar la necesidad de este proyecto por el gran consumo de maíz.

V. MARCO TEÓRICO

1. Cultivo de maíz

El cultivo de maíz forma parte del grupo de los granos básicos que constituyen la dieta de la población guatemalteca, siendo una de las principales fuentes de alimentación para el país (Fuentes M, 2002). El maíz es considerado de la canasta básica debido a su bajo precio y accesibilidad de cultivar el producto en la región. El maíz normalmente es cultivado en pequeñas parcelas las cuales sirven para el autoconsumo y su mayor uso es en la nixtamalización. La producción de maíz ha aumentado un ritmo entre 3 y 7% anual en la última década (Aldana A., 2005).

Actualmente en el área del cultivo del maíz se buscan estrategias para poder aumentar el volumen de producción desde el punto de vista agronómico. Los rendimientos de las plantaciones se basan en la cantidad de granos que hay por planta y la genética de los granos para el desarrollo de su peso. La relación del contenido proteico en el maíz depende principalmente de la maduración que tenga el grano, al igual que la calidad genética de las plantaciones (Aldana, 2005).

Se cuenta con un índice de suficiencia de maíz blanco del 97.7% en Guatemala pudiendo abastecer las demandas de consumo referente a la población, sin embargo las plantaciones de maíz amarillo tienen un índice de suficiencia del 16.5% la estadística nos indica que no es posible abastecer las necesidades del consumo de maíz amarillo en la población ya que el 83.5% del maíz amarillo es importado, cómo sistema global Guatemala cuenta con una suficiencia del 65.4% y hay una dependencia de importaciones del 34.6% (MAGA, 2017)

En Guatemala el maíz es un cultivo con una gran importancia social ya que es cultivado en áreas marginales y de baja productividad económica. El rendimiento promedio por área en Guatemala es de 2,205.14 kg/HA y debido a la demanda actual se tiene la necesidad de importar el maíz siendo un 92% de Estados Unidos, 7% de México y 1% de otros países (MAGA, 2018). Comparando el rendimiento de producción en agricultura del maíz blanco en Guatemala a comparación de otros países tenemos un bajo rendimiento de producción a nivel comercial porque la mayoría del maíz cultivado es para el autoconsumo. La principal diferencia entre el maíz blanco y el maíz amarillo son los usos que se dan en la población y a nivel comercial. El maíz amarillo es usado para satisfacer necesidades alimentarias de los ganados y agropecuarios, estos cultivos se consumen a mayor volumen por los usos industriales que tiene a comparación del maíz blanco (GOBMX, 2017).

2. Estructura del grano de Maíz y composición química:

El maíz es un cereal de grano, con un alto tamaño y volumen, está compuesto por su envoltura, el endosperma y el germen las cuales cumplen con diferentes funciones para poder darle el crecimiento adecuado al grano (Aldana A, 2005).

- Envoltura: es la capa exterior del grano, la cual es la que busca brindar protección al grano y poder encerrarlo para que se permita su crecimiento adecuado, las partes de la envoltura son el pericarpio, testa y cofia representa un 5% al 6% del peso del grano (Aldana A, 2005).
- Endosperma: es la mayor parte y cubre la mayoría de la superficie del grano, está cubierto por una capa llamada aleurona es traslúcido y duro. Representa 70 a 86% del grano (Aldana A, 2005).
- Germen: está situado debajo en un extremo y al costado. Es del 7 al 22% del grano (Aldana A, 2005).

En cuanto a la composición química del maíz pueden variar dependiendo de los factores genéticos y ambientales, sin embargo, los rasgos de la composición química más importantes son:

- Carbohidratos: el maíz está compuesto por almidón en un 72% a 73% de su composición química, la mayoría de los carbohidratos son azúcares en forma de glucosa, sacarosa y fructosa (Aldana A, 2005).
- Proteínas: el contenido proteico en el grano de maíz va del 8% al 11% del peso del grano, el germen es el encargado de la calidad y cantidad de proteínas totales del grano (Aldana A, 2005).
- Grasas: el contenido de grasas representa el 3% al 18% del germen, presenta un bajo contenido de ácidos grasos saturados y contiene alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados como ácido linoleico que es el que se encuentra en mayor porcentaje (Aldana A, 2005).
- Fibra dietética: el contenido de fibra que aporta el grano de maíz va de 12% a 15% (Aldana A, 2005).
- Minerales: los minerales más abundantes en el maíz son el fósforo y el magnesio (Aldana A, 2005).
- Vitaminas: el maíz contiene vitaminas como ácido fólico en bajas concentraciones, vitamina E, carotenoides y vitamina C (Aldana A, 2005).

El contenido nutricional del grano de maíz es bajo en cuanto a la calidad de energía proteica y contenido de micronutrientes como lo es el zinc.

3. Composición nutricional de la harina de maíz y de maíz nixtamalizado:

El proceso de nixtamalización busca poder aumentar la calidad nutricional de los granos de maíz, se aumenta el contenido de calcio en 1914%, al igual que aumenta el contenido energético en un 1%, el de proteínas un 35% y disminuye el contenido de grasas totales en 2%. Los micronutrientes aumentan como Hierro (+203%), Tiamina (+472%), Riboflamina (+838%), Niacina (+418%), Vitamina A (+662%), Zinc (+3%), Magnesio (+18%) y disminuye el contenido de folato en un 100%. La razón por la cuál aumentan los nutrientes en el grano es debido a la hidrólisis que se da en las hemicelulosas del pericarpio del grano de maíz. La Cal debilita las paredes celulares y permite que se liberen los nutrientes que están ligados a las estructuras celulares como la Niacina y debido a eso aumenta la cantidad de los micronutrientes que pueden ser ingeridos por el humano en el grano (Aldana A, 2005).

Principalmente los beneficios de nixtamalizar el maíz son el aumento de contenidos de micronutrientes. Sin embargo, se pierden propiedades como el contenido de fibra y grasas que hay en la harina sin nixtamalizar. La *Salvia hispánica* contiene altos contenidos de grasas y fibras lo que permite balancear el contenido nutricional que se da en la harina al nixtamalizar.

Cuadro 1. Composición nutricional de la harina de maíz nixtamalizada

Gramos de harina de maíz nixtamalizada	100 g
Código de INCAP y OPS	13033
Macronutrientes	Valor
Agua (%)	9.03
Energía (Kcal)	365
Proteína (g)	9.34
Grasa total (g)	3.78
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	1
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	1.72
Ácidos grasos saturados (g)	0.53
Colesterol (mg)	0
Carbohidratos (g)	76.27
Fibra dietética total (g)	9.60
Ceniza (g)	1.57
Calcio (mg)	141
Fósforo (mg)	223
Hierro (mg)	7.21
Tiamina (mg)	1.43
Riboflamina (mg)	0.75
Niacina (mg)	9.84
Vitamina c (mg)	0
Vitamina A (mcg)	662
Potasio (mg)	298
Sodio (mg)	5
Zinc (mg)	1.78
Magnesio (mg)	110
Vitamina B6 (mg)	0.37

Vitamina B12 (mg)	0.00
Ácido fólico (mcg)	N/A
Folato (mcg)	0

(INCAP, 2022)

Cuadro 2. Composición nutricional de la harina de maíz

Gramos de harina de maíz	100 g
Código de INCAP y OPS	13032
Macronutrientes	Valor
Agua (%)	10.91
Energía (Kcal)	361
Proteína (g)	6.93
Grasa total (g)	3.86
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	1.02
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	1.76
Ácidos grasos saturados (g)	0.54
Colesterol (mg)	0
Carbohidratos (g)	76.85
Fibra dietética total (g)	13.40
Ceniza (g)	1.45
Calcio (mg)	7
Fósforo (mg)	272
Hierro (mg)	2.38
Tiamina (mg)	0.25
Riboflamina (mg)	0.08
Niacina (mg)	1.90
Vitamina c (mg)	0
Vitamina A (mg)	0
Potasio (mg)	315
Sodio (mg)	5
Zinc (mg)	1.73
Magnesio (mg)	93

Vitamina B6 (mg)	0.37
Vitamina B12 (mg)	0.00
Ácido fólico (mcg)	N/A
Folato (mcg)	25

(INCAP, 2022)

Cuadro 3. Cambio nutricional con el proceso de nixtamalización

Harina	Maíz	Maíz nixtamalizado		
Gramos (g)	100	100		
Código de INCAP y OPS	13032	13033		
Macro y micronutrientes	Valor de harina de maíz	Valor de harina de maíz nixtamalizado	Cambio nutricional	Cambio (%)
Agua (%)	10.91	9.03	-1.88	-17%
Energía (Kcal)	361	365	4	1%
Proteína (g)	6.93	9.34	2.41	35%
Grasa total (g)	3.86	3.78	-0.08	-2%
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	1.02	1	-0.02	-2%
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	1.76	1.72	-0.04	-2%
Ácidos grasos saturados (g)	0.54	0.53	-0.01	-2%
Colesterol (mg)	0	0	0	0%
Carbohidratos (g)	76.85	76.27	-0.58	-1%
Fibra dietética total (g)	13.4	9.6	-3.8	-28%
Ceniza (g)	1.45	1.57	0.12	8%
Calcio (mg)	7	141	134	1914%
Fósforo (mg)	272	223	-49	-18%
Hierro (mg)	2.38	7.21	4.83	203%
Tiamina (mg)	0.25	1.43	1.18	472%
Riboflamina (mg)	0.08	0.75	0.67	838%
Niacina (mg)	1.9	9.84	7.94	418%
Vitamina c (mg)	0	0	0	0%

Macro y micronutrientes	Valor de harina de maíz	Valor de harina de maíz nixtamalizado	Cambio nutricional	Cambio (%)
Vitamina A (mcg)	0	662	662	662%
Potasio (mg)	315	298	-17	-5%
Sodio (mg)	5	5	0	0%
Zinc (mg)	1.73	1.78	0.05	3%
Magnesio (mg)	93	110	17	18%
Vitamina B6 (mg)	0.37	0.37	0	0%
Vitamina B12 (mg)	0	0	0	0%
Ácido fólico (mcg)	0	0	0	0%
Folato (mcg)	25	0	-25	-100%

4. Consumo del maíz en Guatemala:

El consumo anual *per cápita* de maíz es de aproximadamente 114 Kg, lo cual constituye el 65% de carbohidratos consumido por los guatemaltecos; la contribución de energía aproximadamente es de 37.7% y de proteínas 36.5%. El consumo del maíz depende mucho del ámbito socioeconómico de la población evaluada, a que las familias de bajos ingresos pueden hasta duplicar su consumo por la accesibilidad (Fuentes, 2002). Encuanto a la producción del cultivo se cuentan con aproximadamente 500,000 hectáreas dando la posibilidad del autoabastecimiento local de la demanda. El 96% de la demanda de grano blanco de maíz se ve abastecida por los cultivos nacionales, sin embargo, el grano amarillo llega a obtenerse por medio de importaciones (Fuentes, 2002).

La importancia de este grano es alta, ya que se puede transformar en productos y subproductos que ayudan al sustento de la sociedad guatemalteca. Los productos con origen en el maíz son consumidos tanto en el área rural como urbana, sin embargo, a pesar de ser un grano esencial en la dieta de los guatemaltecos, hay una gran cantidad de la población que no puede cubrir sus necesidades energéticas, ni a vitaminas y contenido de hierro (Fuentes, 2002). La falta de estos nutrientes lleva a la población a un estado de desnutrición, en especial a la población infantil, siendo un riesgo para el desarrollo general del recurso humano de Guatemala. En promedio, se considera que el 70% de la población vive en condiciones de pobreza (Fuentes M, 2002). Los porcentajes de desnutrición pueden variar por departamento debido a la accesibilidad de alimento y la dependencia que se tiene con los cultivos (Fuentes M, 2002). El porcentaje de desnutrición en la población infantil es del 49.8% y puede ir variando (Unicef, 2021).

El aporte en calorías de los derivados del maíz, en especial las tortillas, en personas con ingresos menores a los Q 500 es de 897 kcal al día, casi la mitad de las calorías recomendadas para tener un aporte de energía básico. Normalmente, los patrones de alimentación deben de suplir las necesidades en micronutrientes como en aporte calórico, lo recomendable es tener una dieta de al menos 2,000 kcal al día (FDA, 2022).

5. Mercado guatemalteco de la harina de maíz

En Guatemala, la población estimada de 2022 era de 17,109,746 personas, de las cuales el 90% consumía harinas de maíz para hacer tortillas. En total, se tenía un mercado disponible de 15,398,771 personas. Sin embargo, estaban acostumbradas a consumir harina de maíz nixtamalizada.

6. Fortalecimiento con superalimentos

Entre las estrategias a nivel global para combatir los índices de desnutrición, está la fortificación de alimentos (Unicef, 2021). Sin embargo, es necesario considerar los patrones de consumo de personas de escasos recursos para proponer una fortificación adecuada. De esta manera se podrán brindar soluciones enfocadas al consumidor y que se puedan acoplar a su día a día, sin necesidad de integrar nuevos patrones de alimentación.

Recientemente, se ha empezado la investigación de los súper alimentos, los cuales poseen un concentrado con altos porcentajes de sustancias químicas saludables que ayudan a una ingesta adecuada de micronutrientes, vitaminas y minerales. Estos pueden ser granos, semillas o verduras (Ochoa, 2011). En Guatemala hay regulaciones que velan por el cumplimiento del acceso a los nutrientes. En el acuerdo gubernativo No. 021/2000 se busca que los productores y comercializadores de azúcar sean responsables de la adición de Vitamina A. El ministerio de salud pública y los comercializadores deben velar por los registros sanitarios de la azúcar y revisar que se lleven a cabo las fortificaciones con Vitamina A, al igual que el ministerio de Salud Pública y Asistencia social debe de llevar auditorías para verificar el cumplimiento de la fortificación (FAO, 2000).

7. Composición de la *Salvia hispánica*:

La Chía o *Salvia hispánica*, es un alimento que aporta muchos beneficios al cuerpo humano por su alto contenido de micronutrientes, aceites y minerales. En promedio la semilla contiene un 40% de aceites y 20% de proteínas con minerales como calcio, hierro y zinc. Este superalimento presenta altos beneficios para la piel y para cardiopatías. También contiene un alto contenido en omega 3 el cual puede ayudar a funciones neuronales y mejorar el funcionamiento del sistema cardiovascular, (Carrillo G, 2022).

Cuadro 4. Composición nutricional de la Salvia hispánica

Gramos de <i>Salvia hispánica</i>	100 g
Código de INCAP y OPS	10020
Macronutrientes	Valor
Agua (%)	4.90
Energía (Kcal)	490
Proteína (g)	15.62
Grasa total (g)	30.75
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	2.12
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	23.33
Ácidos grasos saturados (g)	3.18
Colesterol (mg)	0
Carbohidratos (g)	43.85
Fibra dietética total (g)	37.70
Ceniza (g)	4.87
Calcio (mg)	631
Fósforo (mg)	948
Hierro (mg)	N/A
Tiamina (mg)	N/A
Riboflamina (mg)	N/A
Niacina (mg)	N/A
Vitamina C (mg)	0
Vitamina A (mcg)	0
Potasio (mg)	160
Sodio (mg)	19
Zinc (mg)	3.49
Magnesio (mg)	N/A
Vitamina B6	N/A

Vitamina B12	0.00
Ácido fólico	N/A
Folato	0

(INCAP, 2022)

8. Comparativa de nutrientes en las harinas:

Cuadro 5. *Comparativa de los nutrientes de las harinas*

Harina	Maíz	Maíz nixtamalizado	Salvia hispánica	Maíz nixtamalizado fortificada con salvia hispánica al 40%
Gramos de salvia hispánica	100 g	100 g	100 g	100 g
Código de INCAP y OPS	13032	13033	10020	N/A
Macronutrientes	Valor	Valor	Valor	Valor
Agua (%)	10.91	9.03	4.90	7.38
Energía (Kcal)	361.00	365.00	490.00	415.00
Proteína (g)	6.93	9.34	15.62	11.85
Grasa total (g)	3.86	3.78	30.75	14.56
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	1.02	1.00	2.12	1.45
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	1.76	1.72	23.33	10.36
Ácidos grasos saturados (g)	0.54	0.53	3.18	1.59
Colesterol (mg)	0.00	0.00	0.00	0.00
Carbohidratos (g)	76.85	76.27	43.85	63.30
Fibra dietética total (g)	13.40	9.60	37.70	20.84
Ceniza (g)	1.45	1.57	4.87	2.89
Calcio (mg)	7.00	141.00	631.00	337.00
Fósforo (mg)	272.00	223.00	948.00	513.00
Hierro (mg)	2.38	7.21	0.00	4.33
Tiamina (mg)	0.25	1.43	0.00	0.86
Riboflamina (mg)	0.08	0.75	0.00	0.45
Niacina (mg)	1.9	9.84	0.00	5.90

Vitamina c (mg)	0.00	0.00	0.00	45.00
Vitamina A (mg)	0.00	662.00	0.00	397.20
Potasio (mg)	315.00	298.00	160.00	242.80
Sodio (mg)	5.00	5.00	19.00	10.60
Zinc (mg)	1.73	1.78	3.49	2.46
Magnesio (mg)	93.00	110	0.00	66.00
Vitamina B6 (mg)	0.37	0.37	0.00	0.22
Vitamina B12 (mg)	0.00	0.00	0.00	0.00
Ácido fólico (mcg)	0.00	0.00	0.00	0.00
Folato (mcg)	25	0.00	0.00	0.00

(INCAP, 2022)

9. Aplicaciones de la *Salvia hispánica*:

La adición de *Salvia hispánica* en alimentos puede brindar a la persona que lo consume el beneficio de sus propiedades dependiendo del producto en el cual se quiere adicionar. En harinas es importante que se agregue la semilla de forma de consumo directo ya que se puede beneficiar de sus aportes de aceites como es el Omega 3, esta semilla se convierte en un ingrediente perfecto para la adición en productos (Di Sapio, 2022).

Inclusive las semillas pueden usarse como alimento terapéutico ya que puede dar beneficios y prevenir diferentes enfermedades, se puede incluir en la dieta para el tratamiento de celiaquía, depresión, estrés, obesidad, anemias, enfermedades gastrointestinales, crecimiento y debilidad inmunológica (Di Sapio, 2022). Este tipo de tratamiento terapéutico es una opción que se acopla a las necesidades de la dieta nutricional guatemalteca y se puede usar en la harina de maíz nixtamalizado de la cual nacen varios productos del consumo diario de los guatemaltecos.

10. Consumos de valores diarios en los nutrientes:

En base a los valores diarios establecidos por la FDA, se pueden observar los diferentes consumos en micro y macronutrientes, en la siguiente tabla se muestran los valores diarios de consumo que hay actualmente:

Cuadro 6. Valores diarios de nutrientes

Nutriente	Valor diario
Energía (Kcal)	2000
Proteína (g)	50
Grasa total (g)	78
Ácidos grasos saturados (g)	20
Colesterol (mg)	300
Carbohidratos (g)	275
Fibra dietética total (g)	28
Calcio (mg)	1300
Fósforo (mg)	1250
Hierro (mg)	18
Tiamina (mg)	1.2
Riboflamina (mg)	1.3
Niacina (mg)	1.6
Vitamina c (mg)	90
Vitamina A (mcg)	9000
Potasio (mg)	4700
Sodio (mg)	2300
Zinc (mg)	11
Magnesio (mg)	420
Vitamina B6 (mg)	1.7
Vitamina B12 (mg)	2.4
Ácido fólico (mcg)	400
Folato (mcg)	400

(FDA, 2022)

11. Proceso de producción de Harina de maíz:

La nixtamalización es un proceso tradicional que ha estado presente en la región de Guatemala por varios años, este proceso consiste en sumergir el maíz en una solución con agua alcalina para aumentar el valor nutricional y hacer al maíz más digerible. Este proceso se usa como un pretratamiento antes de moler el maíz para la producción de harina de maíz (Mercola, 2017).

El proceso de nixtamalización consta de los siguientes pasos:

- a. Selección del maíz, se busca el maíz y se desgrana buscando conseguir un tamaño estándar de grano. Esta selección puede ser de manera industrial por medio de análisis granulométricos y tamizajes o de forma manual.
- b. Limpieza, esta se hace de forma manual para evitar alterar la humedad del grano
- c. Pesado, dependiendo de la cantidad a usar se usan diferentes tipos de balanzas.
- d. Preparación de la solución alcalina, normalmente se hace con cal o hidróxido de calcio en una solución con agua caliente.
- e. Remojo del maíz en la solución alcalina.
- f. Cocción del maíz con la solución alcalina sin llegar al punto de ebullición
- g. Reposo del maíz en la solución alcalina
- h. Secado, en donde se quita el exceso de la solución alcalina de los granos de maíz (Roque L, 2016)

Una vez se tenga el maíz secado después de pasar por el proceso de nixtamalización se puede proceder a proceso de molienda, en donde por medio de la fuerza de los molinos se pulverizan los granos para poderlos convertir en un fino polvo que permitan la maleabilidad y tamaño necesario para ser una harina.

12. Nixtamalización del maíz:

Este proceso consiste en cocer los granos de maíz con una solución alcalina que se realiza a partir de hidróxido de calcio (Cal) a una temperatura menor a la de ebullición del agua (100°C) por 30 minutos. Este proceso sirve para poder suavizar los granos de

maíz permitiendo que la harina posea una mejor calidad nutricional a comparación de la harina con maíz crudo (Castillo, 2022).

El proceso de nixtamalización es específico para el maíz, durante el cocimiento se genera una hidrólisis en la hemicelulosa, que es una parte del pericarpio del grano. Esto permite que se ablande el grano y que los nutrientes ligados a la estructura celular se liberen y sean comestibles. En la cocción debido a la destrucción parcial de las paredes celulares el grano tiene la posibilidad de absorber agua y calcio. En este proceso se cuentan con cambios en la composición química de los granos de maíz por el cambio en la estructura física que se da al cocer el maíz. También es importante tomar en cuenta que el reposado del maíz forma parte importante de este proceso, en la industria se llama nejayote al final del reposado se pueden obtener los granos nixtamalizados (Castillo, 2022).

El calcio desempeña un papel importante en la nixtamalización del grano de maíz porque permite controlar la actividad microbiana de los granos, mejorando el sabor, aroma, vida útil y valores nutricionales de los granos. El calcio se enlaza con el almidón permitiendo un aumento en el contenido de los granos crudos de maíz (Castillo, 2022).

13. Proceso de producción de fortificación:

Para la fortificación de la harina, al ser el agente fortificante de la *Salvia hispánica* es más recomendable y económico que se agregue la semilla en estado sólido a la harina de maíz, en una proporción que pueda aportar los suficientes nutrientes para garantizar una fortificación exitosa. Para corroborar los procedimientos es necesario hacer análisis de calidad en la harina y en la masa proveniente de la fortificación para determinar el aumento de contenido en micronutrientes al igual que el sabor y percepción de los consumidores.

14. Proceso industrial de producción de harinas de maíz nixtamalizadas:

a. Limpieza de los granos:

La limpieza de los granos se realiza por medio de lavadoras de maíz, estos equipos son de acero inoxidable y funcionan para remover impurezas y

mantener la consistencia y el sabor de los granos. Los equipos de limpieza de los granos permiten tener los siguientes beneficios:

1. Remoción de partes flotantes
2. Limpieza de los granos con el flujo de agua
3. Remoción de piedras y contaminantes
4. Tamizados de los granos para la estandarización de los tamaños de los granos
5. Recirculación de agua para evitar desperdicios

Los equipos de limpieza pueden funcionar con bandas transportadoras, o por medio de gravedad. Los sistemas de limpieza cuentan con una fuente de alimentación de agua y otra fuente de alimentación de los granos. También cuentan con sistemas energéticos para la movilización de las bandas transportadoras y tuberías con bombas para poder transportar el agua a los equipos.

Figura 1. *Limpiadora de maíz industrial por bandas transportadoras*



(Pollak, 2022)

Figura 2. *Limpiadora de maíz industrial por gravedad*



(Heat and control, 2022)

b. Cocción:

El proceso de cocción para la producción de harina de maíz se usa principalmente para suavizar los granos de maíz y aumentar el contenido nutricional de los granos. Este proceso se debe de realizar con una solución de hidróxido de calcio y agua. La nixtamalización también se conoce como cocimiento alcalino y es un proceso selectivo para las proteínas de maíz consta de dos procesos que es el secado y el remojo.

Para la cocción en la industria existen equipos como marmitas y ollas de cocción que pueden ser automáticas, semiautomáticas o manuales. Para aumentar la temperatura se puede usar vapor para calentar los equipos o resistencias eléctricas. Los sistemas de cocción también permiten un control preciso del procesamiento del maíz ya que pueden contar con controles de temperatura y presión dentro de los equipos. El control en las operaciones de los sistemas de cocción permite darles replicabilidad a los lotes de maíz en el cocimiento.

Figura 3. *Sistemas de cocción de maíz industriales*

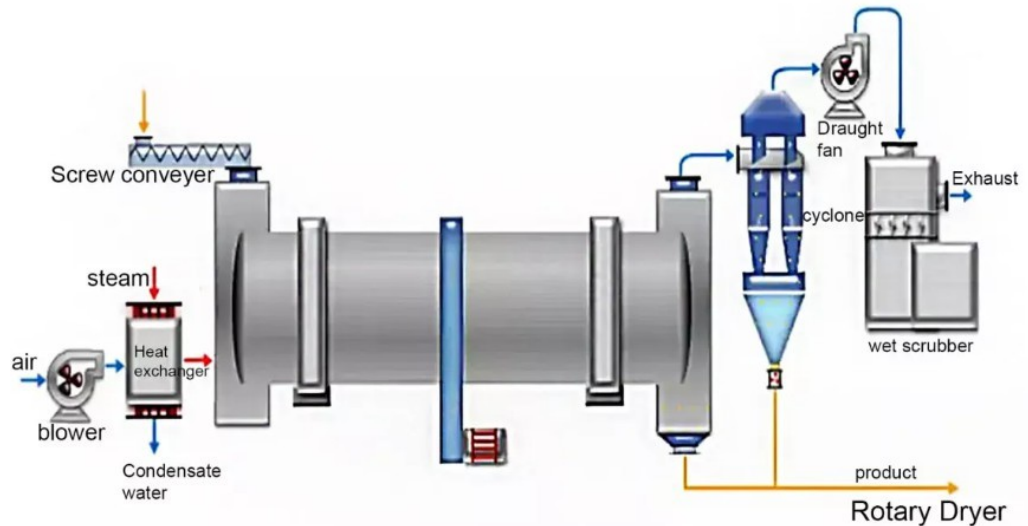


(Heat and control, 2022)

- c. Tanques de remojo: luego de la cocción se deja reposando la solución de maíz en tanques, para trasladar los granos y la solución alcalina; se usan bombas y tuberías a una potencia baja que va directo a los tanques de remojo. En este proceso, la cáscara de maíz reduce su fuerza ayudando a la textura de los granos. Luego, se procede al secado para llegar a la humedad deseada en la molienda. Se recomienda que los tanques de remojo sean en silos de acero inoxidable para asegurar la inocuidad de los alimentos.
- d. Secado de maíz: se pueden contar con diferentes equipos y métodos para el secado del maíz, por ejemplo, el secador de bandejas y el secador rotatorio. Las principales diferencias son los tipos de métodos que ambos manejan. En el secador de bandejas, se tienen operaciones por batch y, en el secador rotatorio, una operación continua. El secador rotatorio está compuesto por un cuerpo rotatorio, una placa de elevación, un dispositivo de soporte, un dispositivo de transmisión y un anillo de sellado. El secador es un cilindro que se encuentra ligeramente inclinado desde una dirección horizontal. La alimentación se agrega desde el extremo superior; la fuente de calor a alta temperatura y la alimentación fluyen en paralelo o a contracorriente hacia el cilindro. Conforme el cilindro va girando, el material de la alimentación fluye hacia el extremo

inferior. La tabla de elevación en la pared interior del cilindro es la que levanta y baja el material de forma que la superficie en contacto del material y el flujo de aire aumenta para aumentar la velocidad de secado y se promueva el avance del material. El material seco sale por el extremo inferior (STE, 2021).

Figura 4. Diagrama del secador rotatorio



STE (2021).

Características principales:

- Posee una amplia capacidad de secado
- Tiene un funcionamiento continuo y estable
- La velocidad de rotación es ajustable y se adapta a los requisitos de diferentes materiales.
- Según las características del material, se elige una estructura interna diferente para cumplir con los requisitos de secado de los materiales.
- Se previene de forma eficiente que el material se adhiera a las paredes.
- Es un sistema ideal para el secado de material que contenga un alto contenido de humedad y viscosidad (STE, 2021).

Aplicación:

El secador rotatorio se utiliza para secar material granulado, polvo y otras mezclas en la industria química, la industria de construcción o de metalurgia. Por ejemplo, en la industria química, el secador rotatorio se utiliza para secar sulfuro de amonio, sulfuro alcalino, urea, dicromato de potasio, carbonato de calcio, entre otros (Xian, 2017)

e. Molino de martillos:

Este tipo de molino utiliza fuerza de impacto generada por el martillo oscilante que alcanza velocidades circunferenciales de 100 m/s y el impacto del revestimiento para triturar el maíz. El límite del tamaño de la partícula está controlado por una malla retenedora reemplazable. Existen distintas opciones de malla que permiten producir materiales de hasta 45 micras.

Características de los molinos de martillos:

- i. La operación continua permite una molienda de alta capacidad de una amplia gama de materiales
- ii. El tamaño máximo de partículas se puede controlar de forma fácil cambiando la malla de retención
- iii. Este molino fue diseñado para un desmontaje rápido para su limpieza y mantenimiento
- iv. Contiene una construcción duradera para una larga vida útil

f. Tamizadora:

Las tamizadoras se usan para poder analizar partículas a través de diferentes mesh, estos tamices se colocan en orden de mayor a menor apertura. Los tamices con mayor apertura llevarán un número menor a los de más apertura. Pueden utilizar agitadores o pueden usarse métodos manuales para poder separar los sólidos. Las ventajas de usar tamizadores con agitadores automáticos es la eficiencia del tamizado y la flexibilidad que dan los equipos.

Características:

- Mejora la pureza del producto. Eliminando materiales que superan el tamaño especificado de los polvos.
- Incrementa la producción de material rentable en el gremio de las harinas.
- Elimina polvos e impurezas de los materiales.
- Se adapta a las instalaciones.
- Estos equipos pueden tener un efecto auditivo bastante alto ya que necesitan vibrar para asegurar el paso de todo el sólido.

(Russell, 2022).

Curva Granulométrica

La granulometría permite conocer la medida de los granos de los sedimentos y partículas presentes en una muestra. Mediante el análisis granulométrico se puede obtener información importante como: su origen, propiedades mecánicas y el cálculo de la abundancia de cada uno de los granos según su tamaño dentro de la escala granulométrica.

Para este análisis se hace pasar una muestra seca, disgregada y pesada por diferentes tamices dispuesto de mayor a menor abertura, agitándose para hacer pasar la muestra a través de ellos. Con este proceso se logra determinar el porcentaje de material que queda retenido en cada uno de los tamices, para poder confeccionar una curva granulométrica.

El modo más común para representar gráficamente la granulometría de un terreno es a través de un diagrama semilogarítmico, donde se representan los tamaños en el eje X (en una escala logarítmica de base 10), y en el eje Y una escala aritmética del 0 al 100 %. Este tipo de gráfico debe hacer entender claramente la cantidad de partículas que atraviesan cada tamiz, y se le denomina curva granulométrica. En el tamizaje se buscan obtener las partículas con los tamaños de 0.0139“ a 0.005 o menor tamaño de partícula.

g. Mezcladoras de harinas:

Las mezcladoras de harina se usan para unir de manera eficiente componentes sólidos secos. Los equipos deben de ser de acero inoxidable para asegurar la inocuidad de los alimentos. Las máquinas pueden funcionar de manera automática, semiautomática y manual. Este tipo de equipos permite el procesamiento de lotes altos y se pueden usar en industrias alimentarias, químicas y farmacéuticas (LeadTop, 2022).

Las mezcladoras cuentan con ángulos de rotación, permitiendo que los materiales de la mezcla se muevan de manera tangencial al mismo tiempo que el equipo, permitiendo homogeneizar la harina. También se pueden contar con equipos de automatización para estandarizar las condiciones de operación

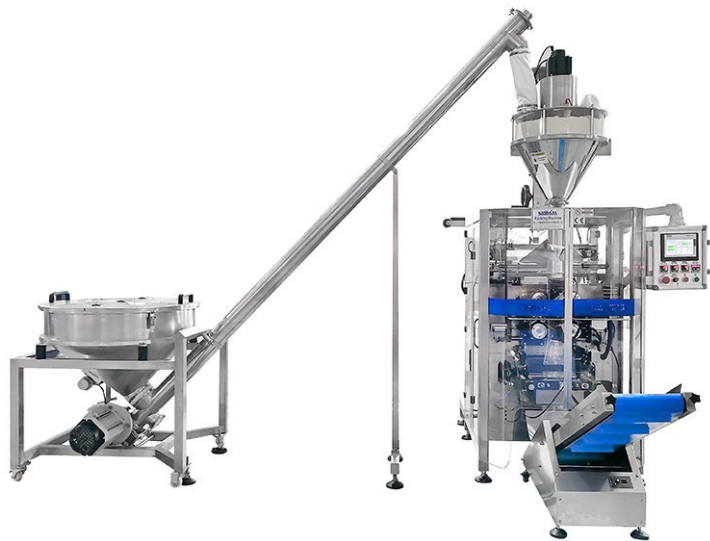
(LeadTop, 2022).

h. Empacadoras de harinas:

Las empacadoras de harina sirven para poder poner el producto en empaques los cuales sean atractivos para los consumidores. El equipo consta de un elevador de tornillo, llenador de tornillo sinfin y una máquina de embalaje. Las condiciones que se deben de tomar en cuenta para el dimensionamiento y tipo de empacadora de harina son:

1. Dimensiones de la bolsa
2. Peso de la bolsa
3. Tipo de producto
4. Forma del embalaje
5. Material de empaque

Figura 5. *Diagrama de envasadora vertical de harinas*



(Samfull, 2022)

15. Comparativa de molinos:

Existen varios tipos de molinos los cuales permiten reducir el tamaño de la partícula de los sólidos, para el maíz se hizo un estudio preliminar para determinar qué molino trae mejores eficiencias para conseguir el tamaño de la harina que va del mesh 40 al 100 con un tamaño de partícula entre 0.0139 pulg a 0.0059 pulg de diámetro. Para esto se molió maíz en tres corridas dando los siguientes resultados.

Cuadro 7. Molino de discos

Molino de discos			
Lote	1	2	3
Peso inicial (kg)	2,34	2,34	2,34
Peso molido (kg)	2,32	2,33	2,34
Acumulaciones (kg)	0,02	0,01	0
Pérdidas(kg)	0	0	0

Cuadro 8. Molino de martillos

Molino de martillos			
Lote	1	2	3
Peso inicial (kg)	2,3 4	2,3 4	2,3 2
Peso molido (kg)	2,3 2	2,3 2	2,2 6
Acumulaciones (kg)	0,0 2	0,0 2	0,0 6
Pérdidas(kg)	0	0	0

Figura 6. Comparativa del análisis granulométrico de los molinos

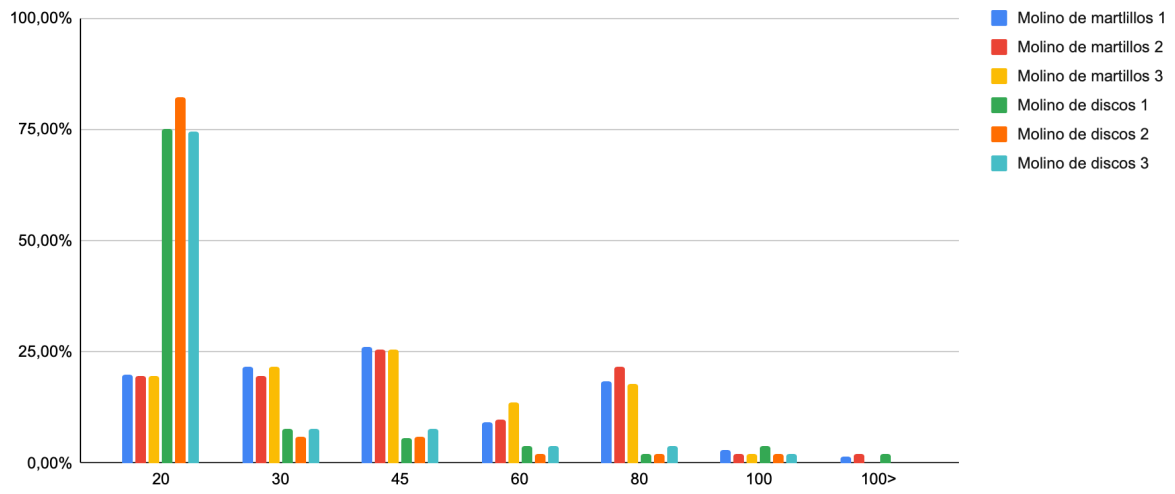
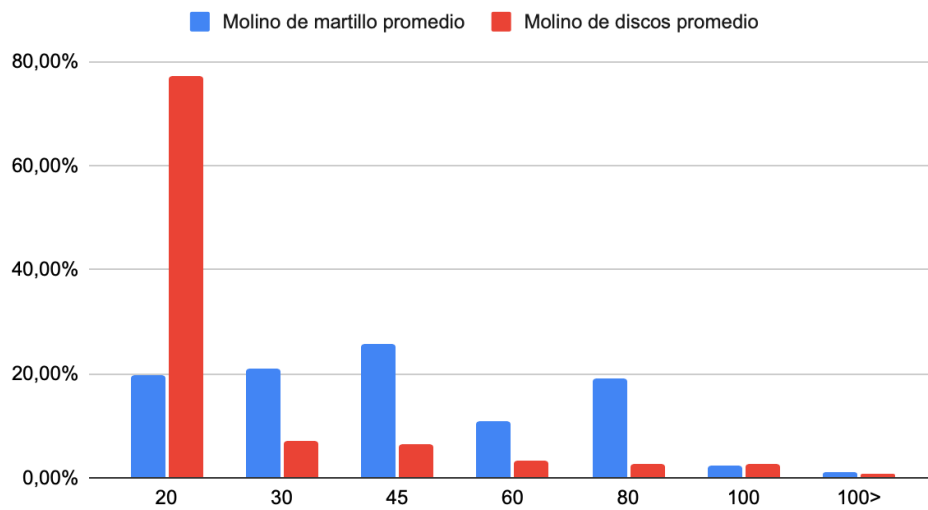


Figura 7. Comparativo promedio del análisis granulométrico de los molinos

Análisis granulométrico por porcentajes



Cuadro 9. Comparativa del molino de discos y molino de martillos

Pesos de los sólidos extraídos						
Molino	Martillos			Discos		
	1	2	3	1	2	3
Lote						
Pesos	0.65	0.51	0.51	0.52	0.51	0.51
20	0.13	0.10	0.10	0.39	0.42	0.38
30	0.14	0.10	0.11	0.04	0.03	0.04
45	0.17	0.13	0.13	0.03	0.03	0.04
60	0.06	0.05	0.07	0.02	0.01	0.02
80	0.12	0.11	0.09	0.01	0.01	0.02
100	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
100>	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	0.65	0.51	0.51	0.52	0.51	0.51
Pérdidas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recirculación (kg)	0.27	0.20	0.21	0.43	0.45	0.42
Harina producida (kg)	0.38	0.31	0.30	0.09	0.06	0.09
Harina producida total (kg)	0.99			0.24		

Cuadro 10. Eficiencia de la producción de harinas de los molinos

Molino	Peso total (kg)	Harina total producida (kg)	Eficiencia
Martillos	1.67	0.99	59%
Discos	1.54	0.24	15%

En base a los pesos y el análisis granulométrico realizado se determinó que el molino con mayor producción de harinas es el molino de martillos con 0.99kg para moler maíz es el de martillos con una eficiencia del 59% del peso que se ingresa al molino. Sin embargo, el molino de discos presentó menos acumulaciones en el sistema, pero con una eficiencia de producción de harinas del 15%. Debido a esto se decidió utilizar este tipo de molino para la producción de harina de maíz nixtamalizada y fortificada.

VI. METODOLOGÍA

1. Proceso de Nixtamalización con fortificación:

1. Formulación: se decidió usar un porcentaje del 40% de *Salvia hispánica* para lograr declarar la harina como una excelente fuente de proteína, buena fuente de fibra, enriquecido con vitamina C y muy bajo contenido de sodio en base al reglamento técnico centroamericano del etiquetado nutricional de productos alimenticios, para esto se comparan los rangos válidos para hacer las declaraciones y en base a esto se decidió el porcentaje de *Salvia hispánica* adicionada en la harina (MINECO, 2023)
2. Selección del maíz: se recibe la materia prima en este caso se recibe el olote junto con los granos. Luego de forma manual con los pulgares se ejerce presión sobre los granos logrando desprenderse del olote, este método posee una eficiencia de 9 kg/h de granos de maíz (Herrera, 2022).
3. Limpieza del grano de maíz: se limpia el grano de maíz obtenido para mejorar la calidad y disminuir la presencia de impurezas. Para esto utilizamos las manos sin agregar agua.
4. Pesado del maíz: Para el pesado del maíz se utiliza el método de balanzas analíticas síes en pequeñas cantidades, mientras que en grandes cantidades se pueden pesar los lotes en balanzas de mayor capacidad, esto nos permite saber la cantidad que estamos ingresando al proceso lo cual nos permitirá realizar los balances de masa (UB, 2022).
5. Mezclado con solución alcalina: al terminar el proceso de limpieza, pasamos a poner los granos en un recipiente metálico con tapa en donde llenaremos con el doble de volumen de agua a comparación del volumen de granos ingresado. Luego se agregan 20 g de hidróxido de calcio por cada 5L de agua ingresados al sistema se busca homogenizar la solución alcalina agregada antes de que se proceda a la cocción (Roque L, 2016).
6. Cocción: se coloca el recipiente de metal en una estufa en donde se calienta la solución alcalina con los granos de maíz sin llegar al punto de ebullición del agua, la temperatura del medio se debe de encontrar por debajo de los 100°C, este paso se considera de suma importancia ya que

permite que el maíz pueda mejorar sus condiciones nutricionales y su contenido de calcio, se requiere un tiempo de cocción de al menos una hora, este tiempo puede variar dependiendo de la dureza de los granos(Roque L, 2016).

7. Reposado: una vez se culmine con la cocción se dejan reposar los granos de maíz en la solución por al menos 14 horas para poder tener la calidad deseada (Roque L, 2016).
8. Secado: una vez se tenga el “Nixtamal” que se considera como los granos después del proceso de reposado se pasa a secar el exceso de la solución alcalina en los granos (Roque L, 2016).
9. Molienda: se introduce el nixtamal en un molino de cilindros para poder pulverizar el tamaño del grano y hacerlo más fino para que posea la consistencia característica de la harina.
10. Tamizado: este proceso se utiliza para disminuir el tamaño de partícula de las harinas, de manera comercial solo se usan partículas del mesh 40 al mesh 100. Para este proceso buscamos poder disminuir el tamaño de partícula del grano molido para esto se introduce cierta cantidad del grano molido a la tamizadora y se deja tamizar por 10 minutos luego se pesa el contenido por cada mesh.
11. Mezclado con agentes fortificantes: al tener la harina del maíz nixtamalizado, agregamos la *Salvia hispánica* molida y tamizada para fortificar el producto final. Se debe de agregar la harina a un mezclador junto con el porcentaje deseado del fortificante para poder obtener la harina con el aumento de nutrientes.
12. Análisis de calidad: se evalúa la calidad del producto final, para esto se debe de generar un análisis en la harina y en la masa que se usa para la transformación de alimentos, en este análisis de calidad se evaluará el contenido proteico, el aporte en calorías, contenido de grasas y la viscosidad de la masa.

2. Metodología empleada:

1. Selección del maíz:

1. Se debe obtener maíz blanco cosechado en Guatemala.

2. Se pesan aproximadamente 3 kg de maíz
2. Limpieza
3. Se colocan los 3 kg de maíz en una cubeta de 5L
 4. Se coloca agua hasta estar encima del nivel del maíz, aproximadamente 4L.
 5. Se espera 5 minutos y se remueven las impurezas que están flotando en el agua.
 6. Remover el agua
 7. Tomar el maíz con un colador y echar agua hasta que no contenga ninguna impureza.
 8. Pesar el maíz y las pérdidas para cuantificar las impurezas en los lotes.
*Algunas de las impurezas que se pueden encontrar en los lotes de maíz son insectos y residuos agrícolas como la tierra.
3. Pesado del maíz:
9. Una vez se tengan los lotes limpios, se pesan 2.36 kg de maíz que es el consumo per cápita por semana de un guatemalteco, en cubetas previamente taradas.
4. Preparación de solución alcalina
10. Agregar 3 L de agua por kg de maíz
 11. Agregar los gramos de cal necesarios para alcanzar una concentración de 4g/L
 12. Mezclar antes de calentar
5. Cocción:
13. Agregar los 2.36 kg de maíz a la solución alcalina.
 14. Calentar por media hora sin llegar a la temperatura de ebullición de la solución alcalina.
 15. Remover de la fuente de calor al pasar media hora.
 16. Esperar a que se enfríen los lotes.
6. Reposado:
17. Pasar la mezcla de solución alcalina con maíz una vez esté a temperatura ambiente a un recipiente.
 18. Dejar reposar por un total de 16 horas
7. Filtrado:

19. Al pasar las 16 horas del reposado del maíz filtrar el exceso de solución alcalina
20. Pesar el maíz para saber los kg de agua absorbidos en el proceso de nixtamalización (cocción y reposado)

8. Secado:

- a. Encender el ventilador del secador
- b. Dar paso al gas propano por medio de la apertura de la válvula del cilindro
- c. Abrir la válvula de la salida del gas al secador
- d. Encender el mechero, por medio del paso de gas y a través de la chispa.
- e. Acercar el mechero a la entrada de aire para encender el calor en el secador.
- f. Encender la alimentación del secador a 1800 rpm ajustando a 30 Hertz
- g. Encender la rotación del secador a 3600 rpm ajustando a 25, 30, 35 y 40 Hertz
- h. Esperar a que el secador alcance la temperatura de 160°C para insertar el maíz
- i. Encender los elevadores de cangilones y colocar ambos a 30 Hertz
- j. Verter el maíz nixtamalizado húmedo en la tolva del elevador de cangilones.
- k. Mediciones de humedad
 - i. Encender la balanza de humedad
 - ii. Tarar el equipo con el plato a usar.
 - iii. Insertar la muestra del maíz húmedo en la balanza de humedad (insertar 2g en la balanza de humedad)
 - iv. Cerrar la balanza de humedad y darle start.
 - v. Esperar a que el equipo de la señal de que se terminó el proceso desecado.
 - vi. Registrar el porcentaje de humedad que da la balanza.
 - vii. Sacar las muestras de maíz
 - viii. Tomar muestras de la humedad del maíz, al inicio, a los 15 minutos, a los 25 minutos y a los 50 minutos de secado.

9. Molienda

- a. Conectar el equipo
- b. Pesar el sólido que se va a moler en kg para saber el peso inicial

- c. Colocar los recipientes de recepción en el final del molino, pueden ser bolsas.
- d. Encender el molino de martillos.
- e. Sostener la válvula de entrada antes de insertar los sólidos.
- f. Insertar los sólidos de manera constante.
- g. Al llenar el lugar de recepción soltar la válvula de entrada y permitir que ingrese el sólido.
- h. Esperar a que los sólidos lleguen al lugar de recepción para seguir ingresando el material.
- i. Pesar los sólidos recibidos.
- j. Repetir el procedimiento hasta terminar todo el peso de los lotes.
- k. Hacer el proceso de molienda para los granos de maíz nixtamalizados y para los granos de *Salvia hispánica*.

10. Tamizado

- a. Limpiar el equipo
- b. Conectar la balanza y el tamizador.
- c. Pesar los platos de tamizaje con los mesh.
- d. Ingresar el sólido molido en el primer plato del tamiz
- e. Pesar los sólidos ingresados.
- f. Ordenar los mesh de menor a mayor, el número más pequeño debe de ir arriba (el orden de los platos es el siguiente: mesh 20, 30, 45, 60, 80, 100 y 100+)
- g. Poner el tiempo en el equipo de 10 minutos.
- h. Encenderlo y esperar.
- i. Pesar los diferentes platos.
- j. Obtener los pesos de los sólidos por medio de la diferencia de pesos del plato y del peso del plato con el sólido.
- k. Generar una curva granulométrica.
- l. Repetir el procedimiento hasta agotar el peso de los lotes.
- m. Tomar en cuenta que lo mejor es separar los lotes dependiendo del peso por la capacidad de la tamizadora.
- n. Hacer el proceso de tamizado para los granos de maíz nixtamalizados y para los granos de *Salvia hispánica*.

11. Fortificación
 - a. Se pesan los kg de maíz
 - b. Se pesa los kg de *Salvia hispánica* que se van a usar
 - c. Se pesa la vitamina c que se agregara a la harina.
 - d. Se utiliza una formulación de 40% peso de *Salvia hispánica* con 60% de maíz.
 - e. Se añaden los ingredientes en un contenedor que permite el mezclado.
 - f. Se mezclan los ingredientes hasta que se tenga una consistencia homogénea.
 - g. Se pasan a contenedores para empaclar el contenido de harina.
12. Empaque:
 - a. Se abren los empaques de la harina
 - b. Se introduce la harina fortificada en los empaques
 - c. Se sellan los empaques.
13. Uso de la harina para la formación de tortillas
 - a. Agregar 1000 g de harina fortificada
 - b. Agregar 593.68 mL de agua
 - c. Mezclar hasta ver una consistencia pastosa
 - d. Agarrar la masa y formar bolas
 - e. Poner las bolas en un molde de 12 cm de diámetro
 - f. Aplastar hasta tener un grosor de 0.30 cm
 - g. Poner a cocinar a fuego alto de 10 a 15 minutos dando vueltas a ambos lados
 - h. Retirar del fuego y almacenar.
14. Estudio de mercado
 - a. Determinar el tamaño de muestra para el mercado potencial estimados usando el 3.5% de la población consumidora de tortillas
 - b. Generar encuestas para responder los objetivos de mercados evaluando los precios y la percepción de la fortificación.
 - c. Compartir las encuestas al número de muestra y analizar los resultados
 - d. Tabular los datos
15. Panel sensorial
 - a. Etiquetar el número de muestra

- b. Pasar las muestras a 106 personas
- c. Al final la prueba de la tortilla pasar encuesta
- d. Evaluar los datos de la percepción del aroma, sabor, textura y apariencia de las tortillas.
- e. Tabular los datos.

e. Equipos

Cuadro 11. *Equipos para la fortificación de maíz nixtamalizado.*

No	Equipo	Proceso	Variables
1	Tamizador	Selección del maíz	Tamaño de la harina de maíz.
2	Balanza analítica	Pesado del maíz	Peso del lote de maíz.
3	Balanza normal	Pesado de los lotes de maíz	Peso del lote de maíz en kg.
4	Estufa	Cocción	Temperatura de cocción Tiempo de cocción del maíz
5	Molino de martillos	Molienda	Revoluciones
7	Mezclador de cintas para harinas	Fortificación	Porcentaje de mezclado de Salvia Hispanica
8	Termómetro digital	Mediciones de temperatura	Cambio de temperatura

f. Reactivos e ingredientes

Cuadro 12. *Reactivos*

No	Nombre	Fórmula	Toxicidad
1	Granos de Maíz	Alimento vegetal	No presenta toxicidad
2	Agua	H ₂ O	No presenta toxicidad
3	Salvia Hispánica	Alimento vegetal	No presenta toxicidad
4	Hidróxido de calcio gradoalimentario	Fortificante	No presenta toxicidad

VII. RESULTADOS

1. Tablas nutricionales

Cuadro 13. Información nutricional de la harina de maíz nixtamalizada al 40% p/p con *Salvia hispánica*

Información	
Tamaño por porción	100 g
Calorías	415 kcal
% de valor diario	
Grasa total	14.5 g 72,5%
Colesterol	0 g 0.0%
Sodio	10.6 mg 0,4%
Carbohidratos	63.30 g 23,0%
Fibras	20.84 g 55,9%
Proteínas	11.85 g 23,7%
Fósforo	513 mg 41,0%
Zinc	2.46 mg 22,3%
Hierro	4.32 mg 24,0%
Calcio	337 mg 25,9%
Vitamina A	397.2 mcg 44,1%
Vitamina C	45 mg 50,0%
*Porcentajes de valores diarios basados en una dieta de 2000 calorías y por los estándares del consumo diario de la FDA	

Cuadro 14. Información nutricional de la harina de maíz nixtamalizada

Información	
Tamaño por porción	100 g
Calorías	365 kcal
Componentes Nutricionales	
	% de valor diario
Grasa total	3.78 g 18.9%
Colesterol	0 g 0.0%
Sodio	5 mg 0.2%
Carbohidratos	76.27 g 27.7%
Fibras	9.6 g 34.2%
Proteínas	9.34 g 18.6%
Minerales y Vitaminas	
Fósforo	223 mg 17.8%
Zinc	1.78 mg 16.1%
Hierro	7.21 mg 40.0%
Calcio	141 mg 10.8%
Vitamina A	662 mcg 74.0%
Vitamina C	0 mg 0.0%
*Porcentajes de valores diarios basados en una dieta de 2000 calorías y por los estándares del consumo diario de la FDA	

Cuadro 15. Cambios de la información nutricional en las tortillas

Nutriente	Cambio en peso y energía	Cambio de valor diario (%)
Proteína	2.5 g	+5.1%
Fibras	11.2 g	+21.7%
Grasas	10.7 g	+53.6%
Energía	50 kcal	+13.6%
Calcio	196 mg	+23.2%
Vitamina C	45 mg	+50%
Fósforo	290 mg	+23.2%
Zinc	0.68 mg	+6.2%

Cuadro 16. Claims nutricionales de la harina de maíz fortificada

No	Claim
1	Excelente fuente de proteína
2	Alto contenido de fibra
3	Enriquecido con vitamina C
4	Fuente de vitamina A
5	Fuente de Zinc
6	Fuente de calcio

Figura 8. Comparativa de macronutrientes de las harinas de maíz, harina de maíz nixtamalizada y harina de maíz nixtamalizada fortificada al 40% p/p de Salvia hispánica

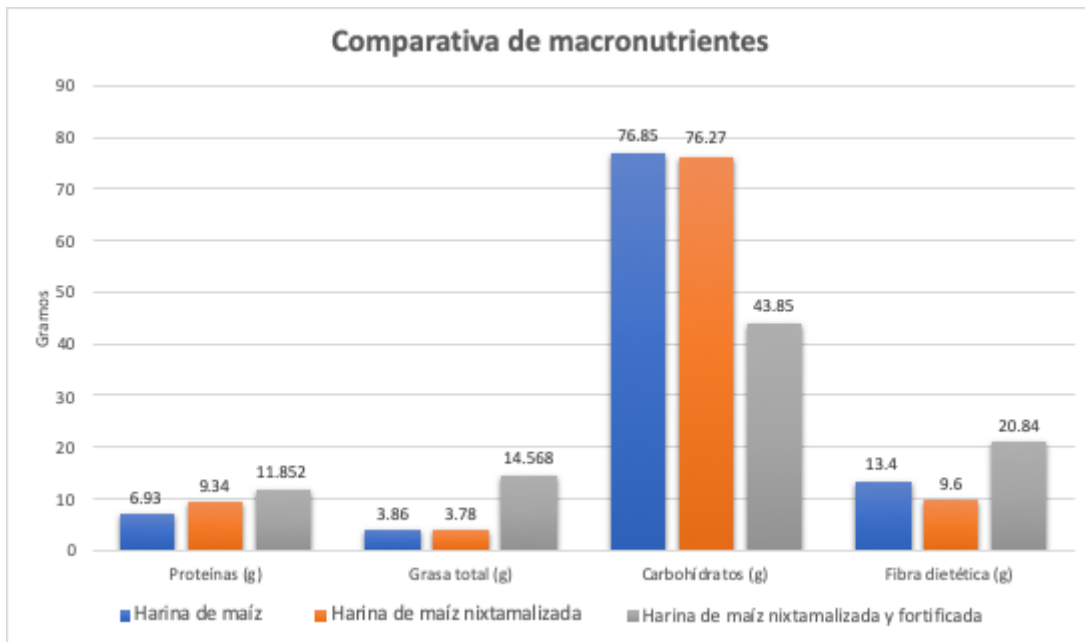


Figura 9. Comparativa de micronutrientes de las harinas de maíz, harina de maíz nixtamalizada y harina de maíz nixtamalizada fortificada al 40% p/p con Salvia hispánica

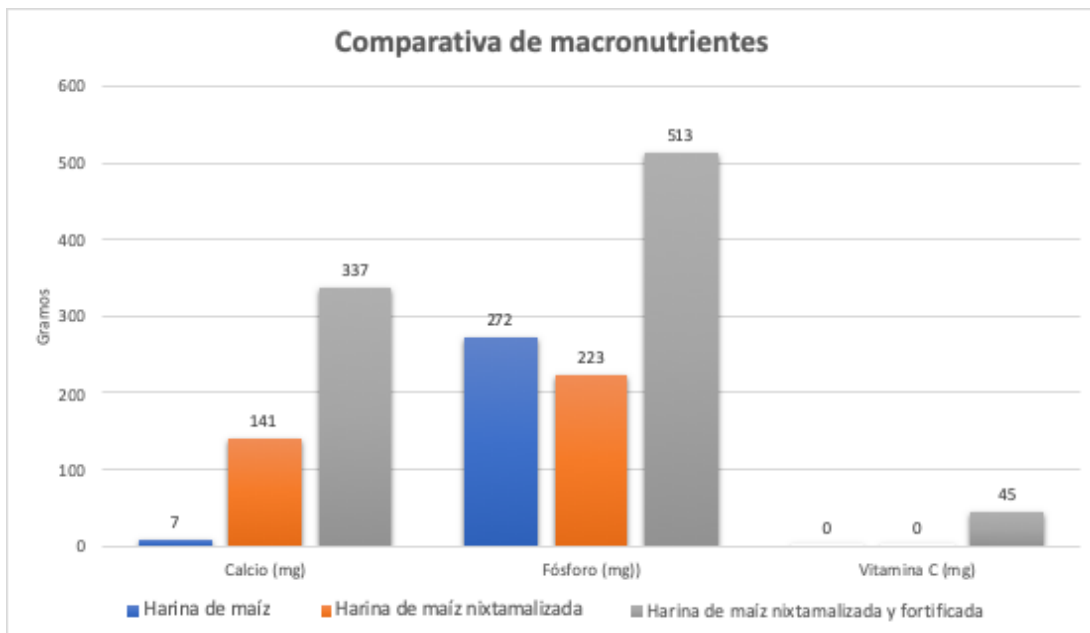
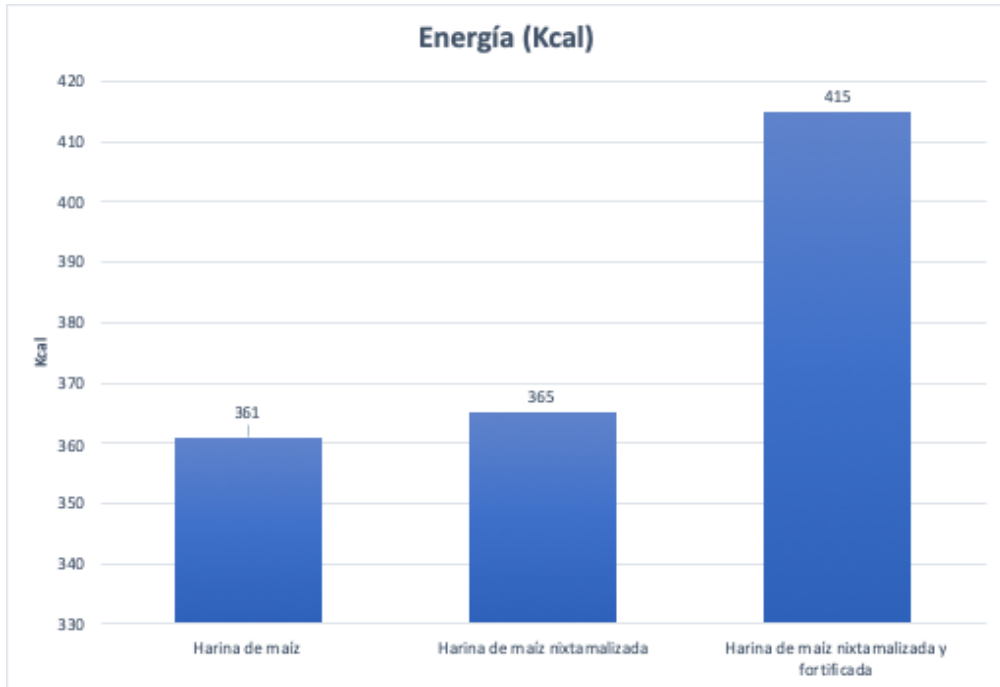


Figura 10. Comparativa de aporte energético de las harinas de maíz, harina de maíz nixtamalizada y harina de maíz nixtamalizada fortificada al 40% p/p con Salvia hispánica



2. Operaciones unitarias

i. Diagrama de flujo

Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de fortificación

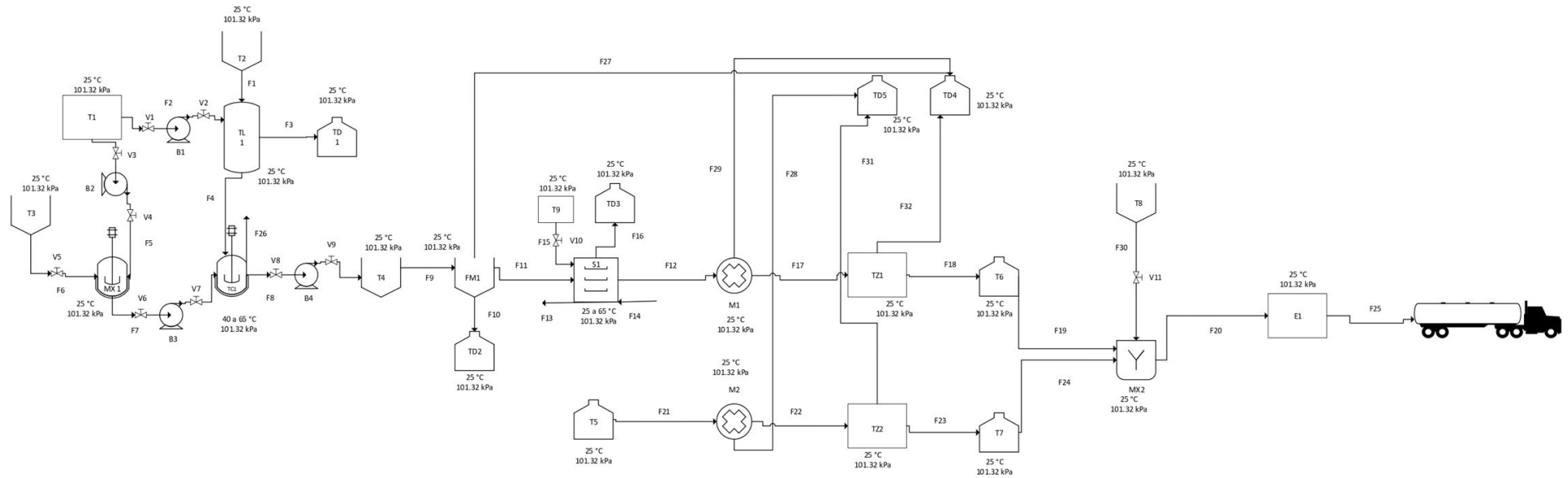
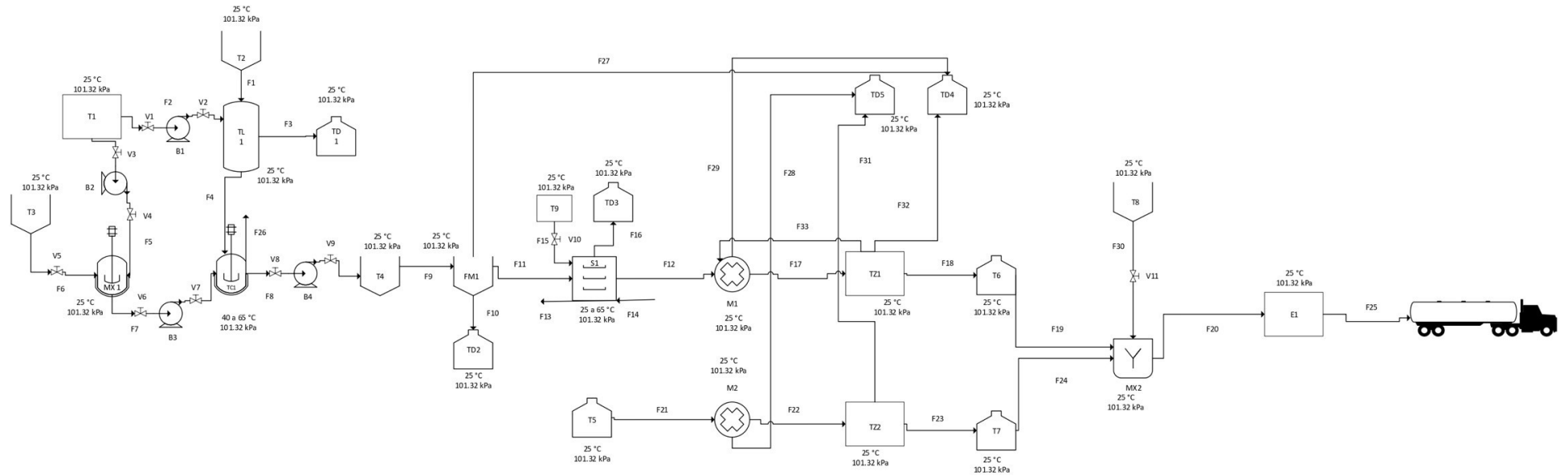


Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de fortificación con recirculación en el tamizado



Cuadro 17. *Equipos del diagrama de flujo*

TL1	Limpiadora de maíz
MX1	Mezcladora de solución alcalina
TC1	Tanque de cocción
FM1	Filtro de maíz
M1	Moledora de martillos para maíz nixtamalizado
M2	Moledora de martillos para <i>Salvia hispánica</i>
TZ1	Tamizadora de harina de maíz nixtamalizado
TZ2	Tamizadora de harina de <i>Salvia hispánica</i>
MX2	Mezcladora de harinas
E1	Empacadora de harina de maíz

Cuadro 18. *Válvulas de diagrama de flujo*

V1	Válvula de agua
V2	Válvula de tanque de agua a tanque de limpieza
V3	Válvula de tanque de agua a bomba 2
V4	Válvula de bomba de mezcladora 1
V5	Válvula de tanque 3 (CaO)
V6	Válvula de tanque de mezclado a bomba 3
V7	Válvula de bomba 3 a tanque de cocción
V8	Válvula de tanque de cocción a bomba 4
V9	Válvula de bomba 4 a tanque de reposado
V10	Válvula de combustible al secador
V11	Válvula de tanque de Vitamina C

Cuadro 19. *Bombas del diagrama de flujo*

B1	Bomba centrífuga de agua del tanque a la mezcladora
B2	Bomba del tanque de agua al tanque de limpieza
B3	Bomba de mezcladora a tanque de cocción
B4	Bomba del tanque de cocción al tanque de reposado

Cuadro 20. *Tanques del diagrama de flujo*

T1	tanque de agua de proceso
T2	tanque de almacenamiento de maíz
T3	Tanque de almacenamiento de NaOH
T4	Tanque de reposado
T5	Tanque de almacén de <i>Salvia hispánica</i>
T6	Tanque de almacenamiento de harina de maíz
T7	Tanque de almacenamiento de <i>Salvia hispánica</i>
T8	Tanque de almacenamiento de Vitamina C
TD1	Tanque de desechos de maíz
TD2	Tanque de desechos del filtrado
TD3	Tanque de desechos de maíz nixtamalizado en el secado
TD4	Tanque de desechos de maíz nixtamalizado en el molino y tamizado
TD5	Tanque de desechos de <i>Salvia hispánica</i> de la molienda y el tamizado

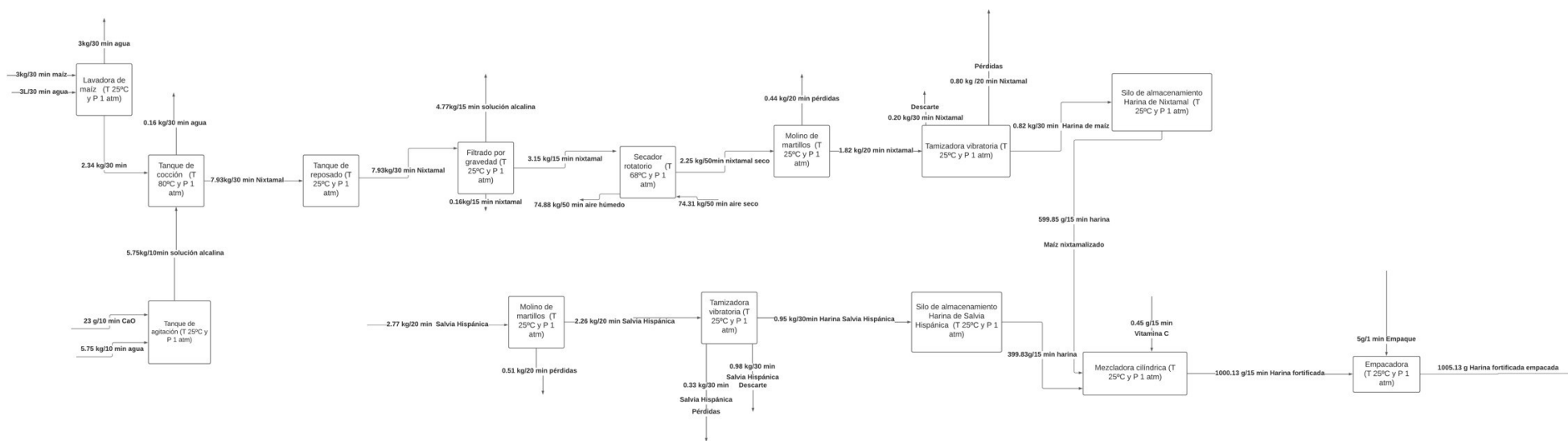
Cuadro 21. Descripción de flujos

Nombre	Flujo	Fracciones másicas
F1	3 kg/30 min	1 maíz
F2	3 kg/30 min	1 agua
F3	3.66 kg/30 min	0.18 maíz, 0.82 agua
F4	2.34 kg/30 min	1 maíz
F5	5.75 kg/10 min	1 agua
F6	23 g/10 min	1 CaO
F7	5.75 kg/10 min	0.999 agua, 0.001 CaO
F8	7.93 kg/30min	0.70 agua, 0.29 maíz, 0,01 CaO
F9	7.93 kg/30min	0.70 agua, 0.29 maíz, 0,01 CaO
F10	4.77 kg/15 min	1 solución alcalina
F11	3.15 kg/15 min	0.30 solución alcalina, 0.70 maíz
F12	2.25kg/50 min	0.86 maíz nixtamalizado, 0.14solución alcalina
F13	74.31 kg/50min	0.99 aire, 0.01 humedad
F14	74.88 kg/50 min	1 aire
F15	0.012 kg/50 min	1 gas propano
F16	0.24 kg/50 min	0.7 maíz nixtamalizado, 0.3 solución alcalina
F17	1.82 kg/20 min	1 maíz nixtamalizado
F18	0.82 kg/30 min	1 maíz nixtamalizado
F19	599.85 g/15 min	1 maíz nixtamalizado
F20	1 kg/15 min	0.6 maíz nixtamalizado, 0.4 <i>Salvia hispánica</i>
F21	2.77 kg/20 min	1 <i>Salvia hispánica</i>
F22	2.26 kg/ 20 min	1 <i>Salvia hispánica</i>
F23	0.93 kg/30 min	1 harina <i>Salvia hispánica</i>
F24	399.83 g/15 min	1 <i>Salvia hispánica</i>
F25	1 kg/ 15 min	1 Harina empacada
F26	0.16 kg/ 15 min	1 maíz nixtamalizado

F27	0.16 kg/15 min	1 maíz nixtamalizado
F28	0.51 kg/ 20 min	1 <i>Salvia hispánica</i>
F29	0.44 kg/ 20 min	1 maíz nixtamalizado
F30	0.45 g/15 min	1 Vitamina C
F31	1.31 kg/ 20 min	1 <i>Salvia hispánica</i>
F32	1 kg/20 min	1 maíz nixtamalizado
F33	1 kg/30 min	1 maíz nixtamalizado

Diagrama de bloques y balance de masa

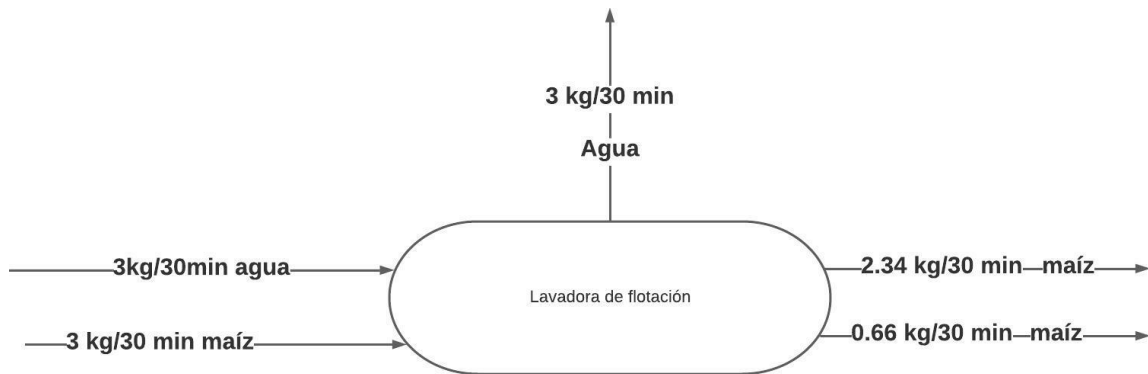
Figura 13. Diagrama de bloques y balance de masa global



Balances de masa

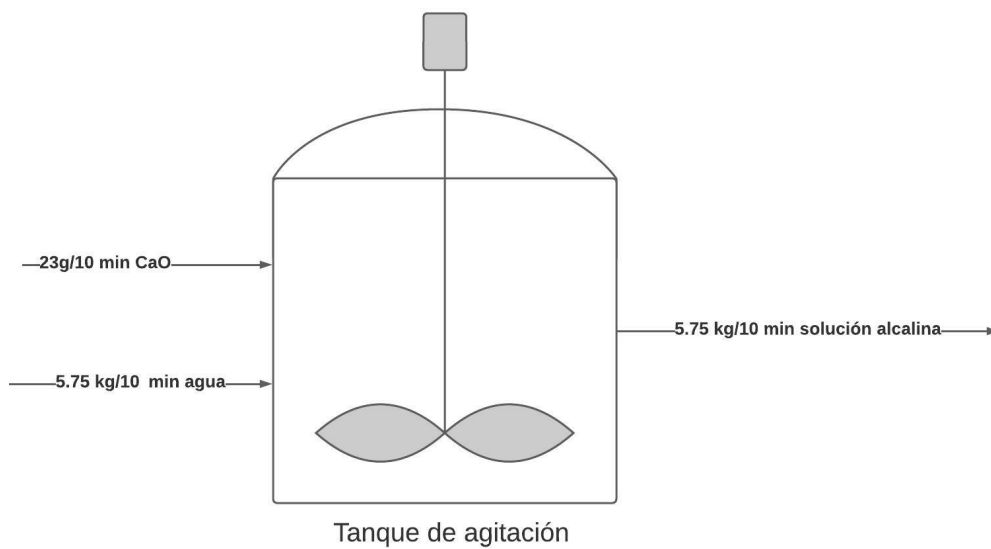
1. Balance de masa de la limpieza preliminar

Figura 14. Balance de masa de la limpieza



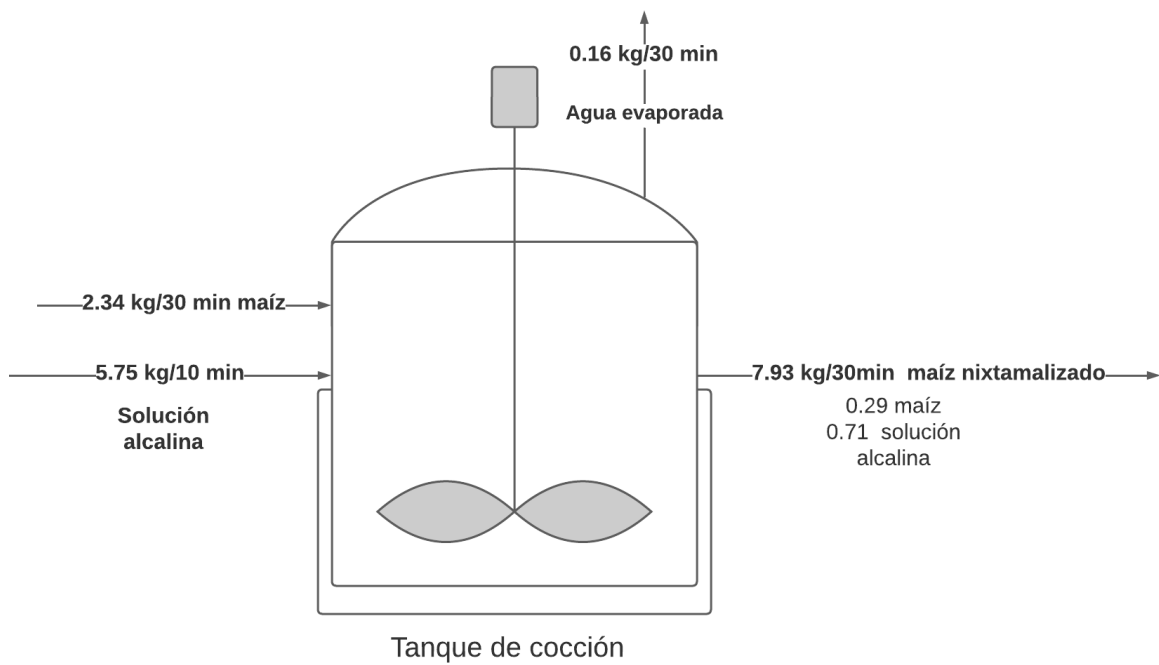
2. Balance de masa de la preparación de la solución alcalina

Figura 15. Balance de masa de la preparación de la solución alcalina



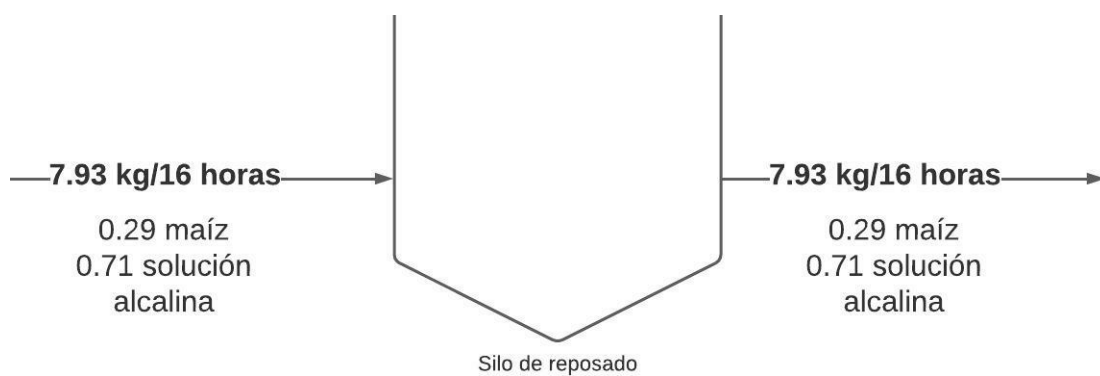
3. Balance de masa de la cocción y proceso de nixtamalización

Figura 16. *Balance de masa de cocción*



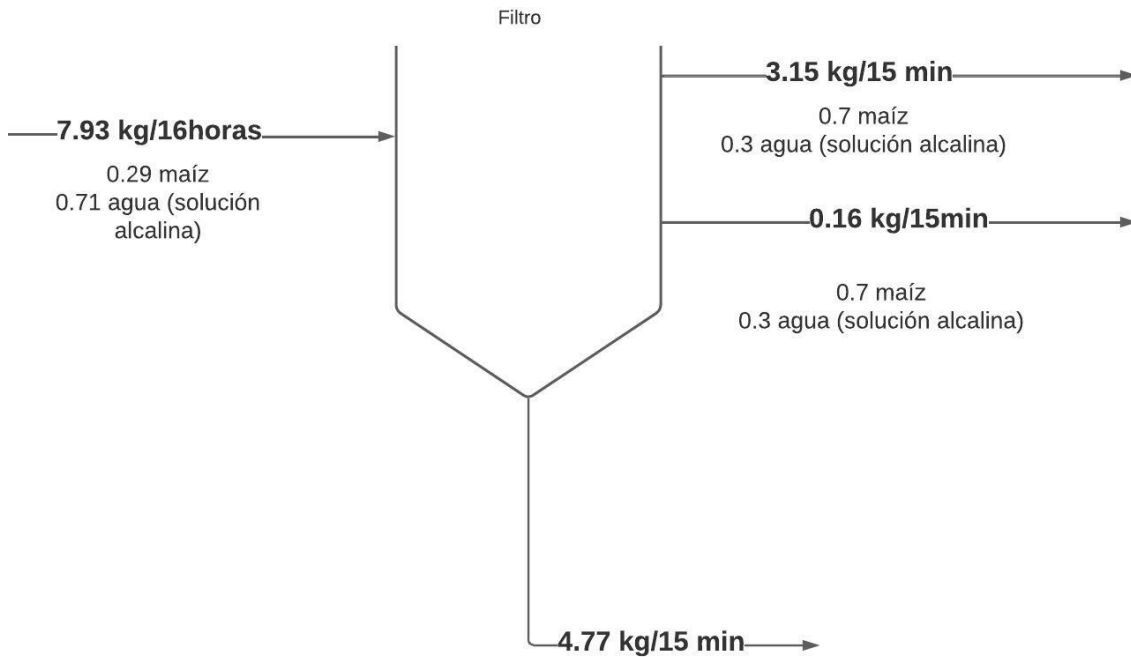
4. Balance de masa del reposado

Figura 17. *Balance de masa del reposado*



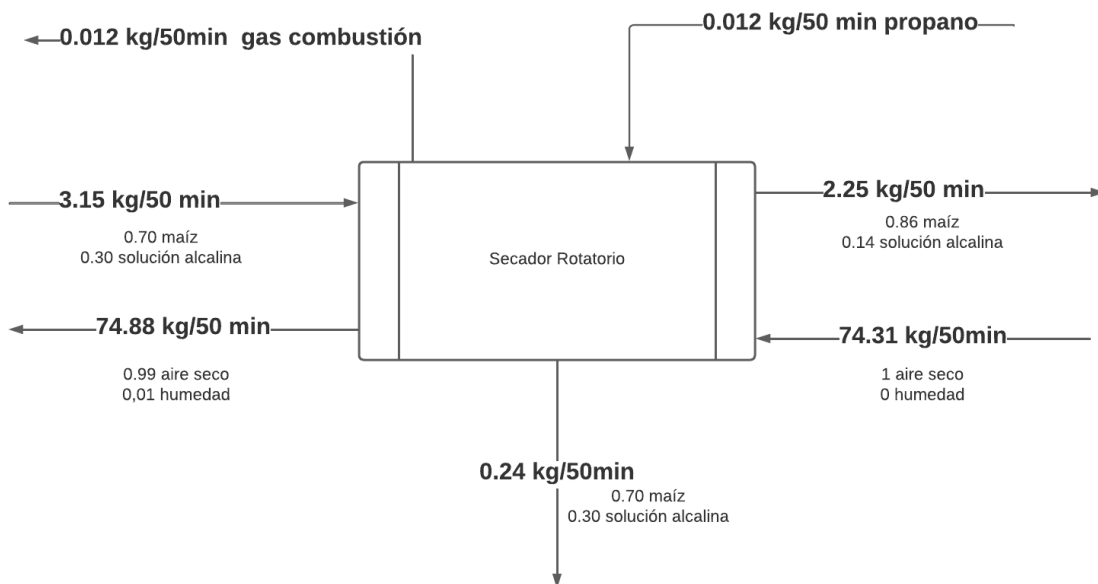
5. Balance de masa del filtrado

Figura 18. Balance de masa del filtrado



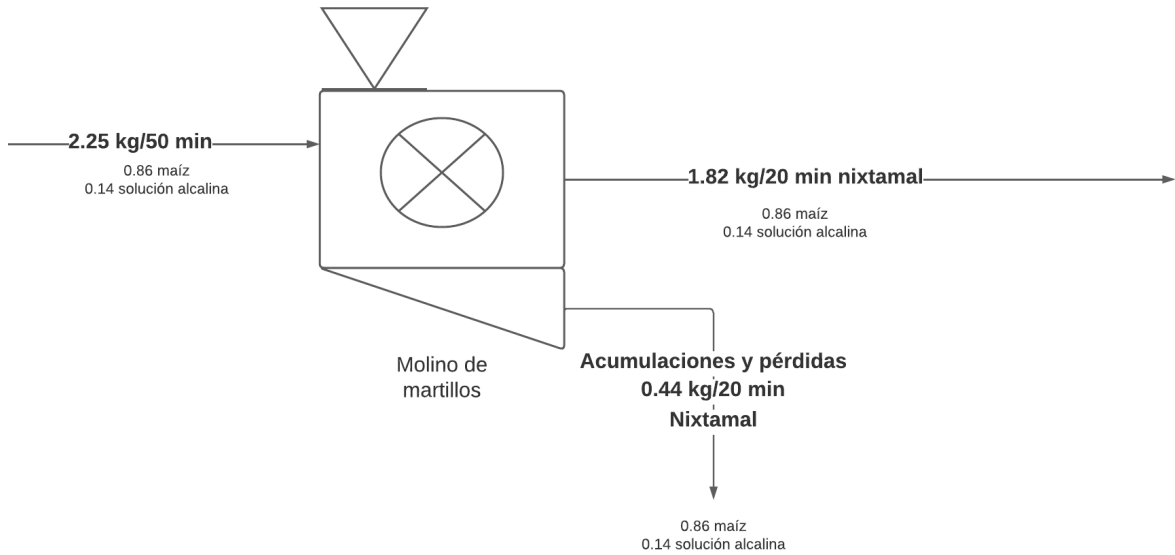
6. Balance de masa del secador rotatorio

Figura 19. Balance de masa del secador rotatorio



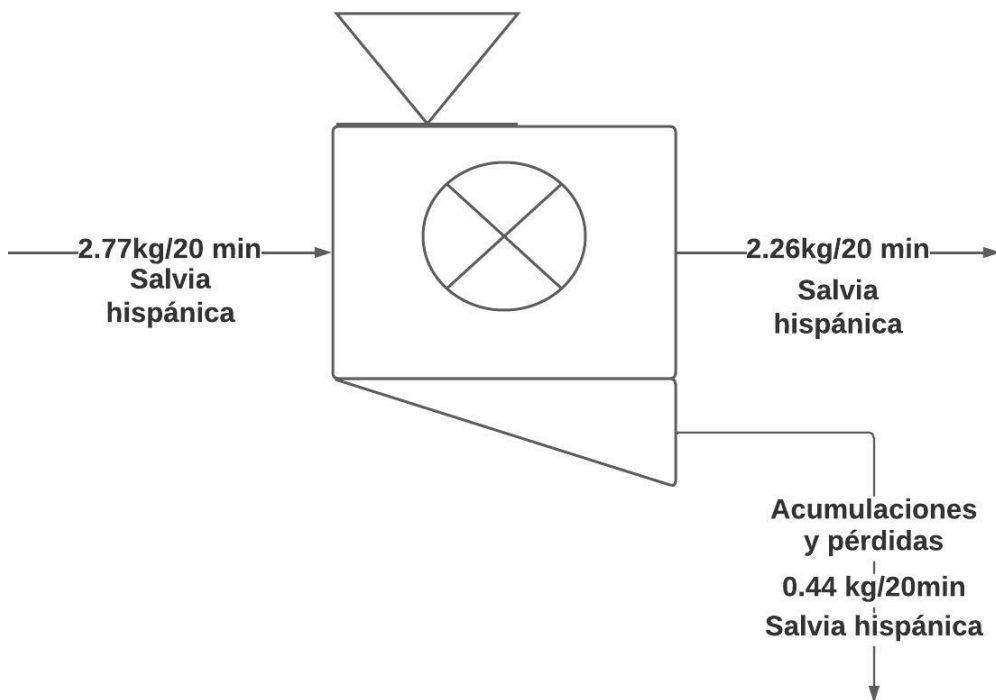
7. Balance de masa de la molienda del maíz nixtamalizado

Figura 20. Balance de masa de la molienda de maíz nixtamalizado



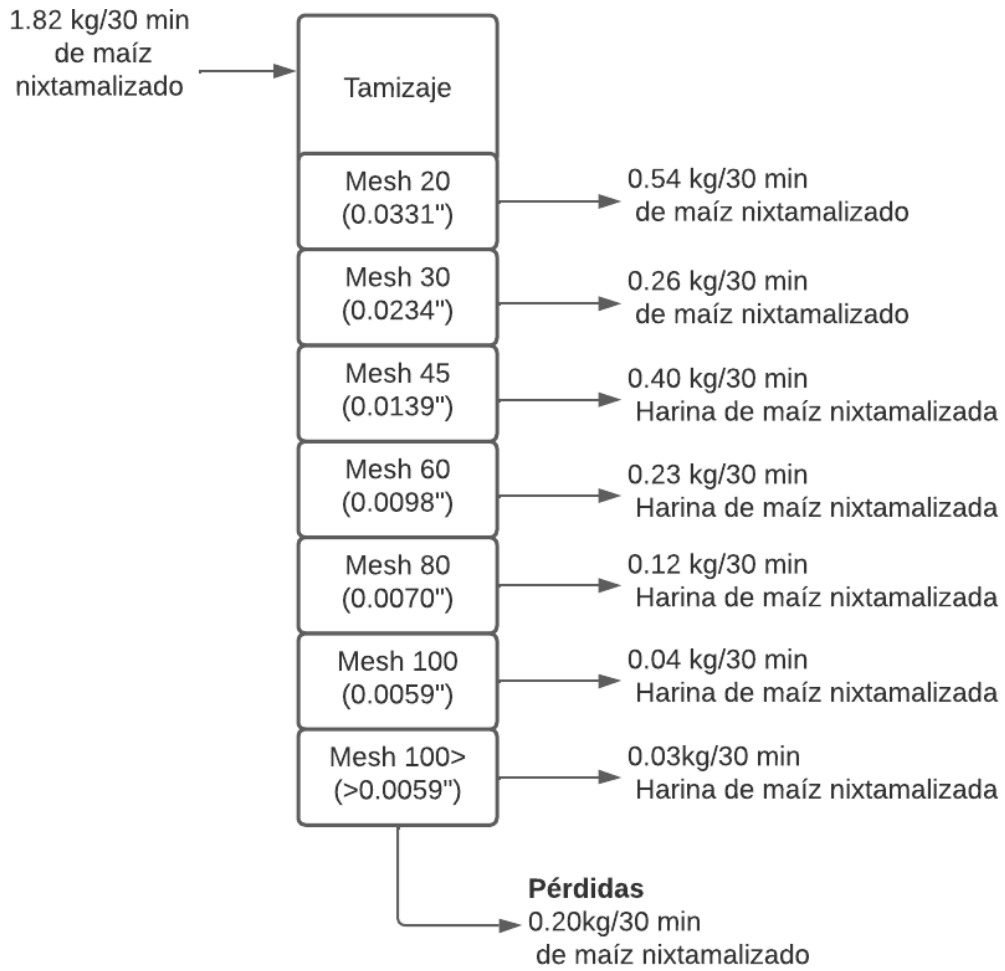
8. Balance de masa de la molienda de la *Salvia hispánica*

Figura 21. Balance de masa de la molienda de la *Salvia hispánica*



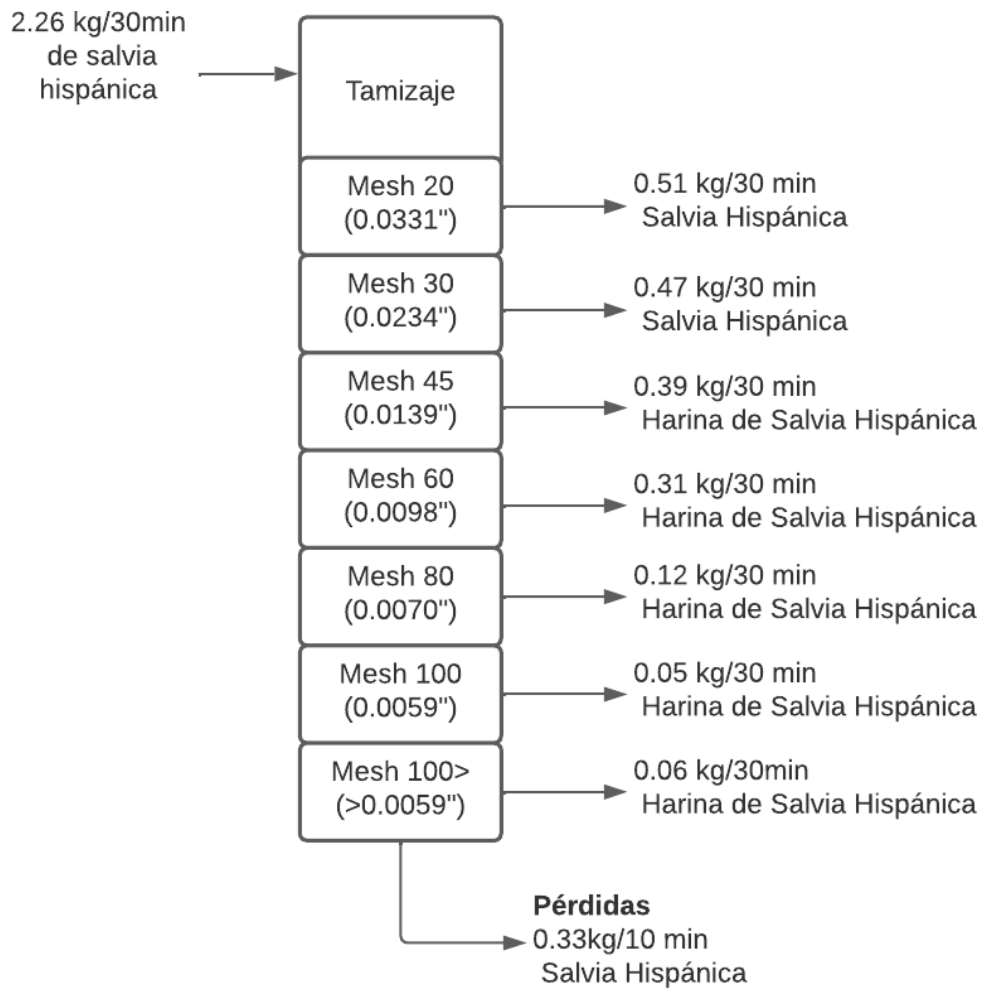
9. Balance de masa del tamizado de la harina de maíz

Figura 22. Balance de masa del tamizado de la harina de maíz nixtamalizado



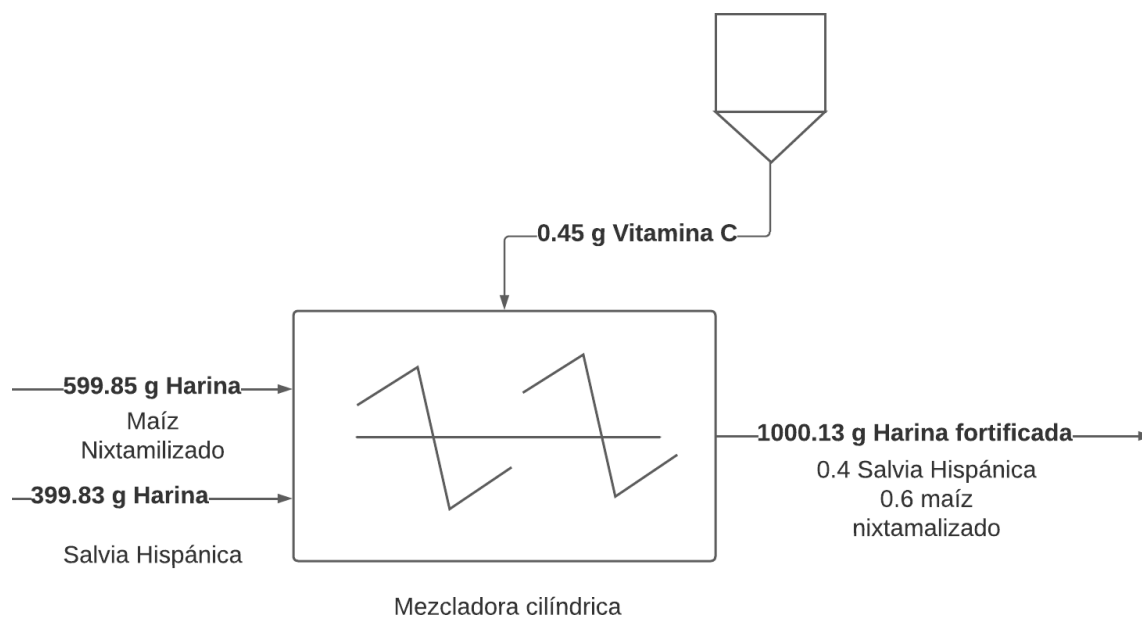
10. Balance de masa del tamizado de la harina de *Salvia hispánica*

Figura 23. Balance de masa del tamizado de la harina de *Salvia Hispánica*



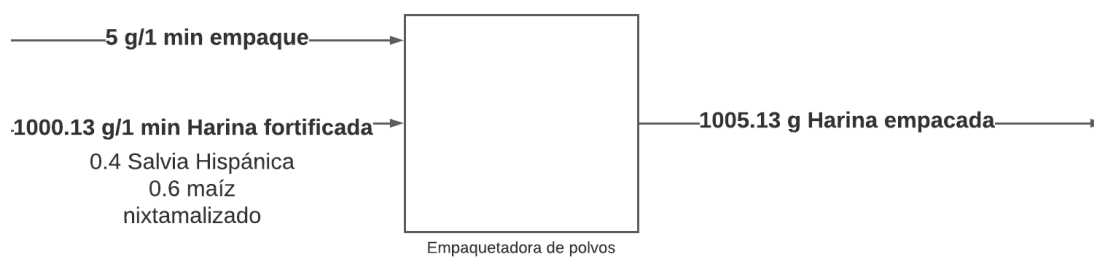
11. Balance de masa del mezclado y fortificación

Figura 24. Balance de masa del mezclado de harinas



12. Balance de masa empaçado

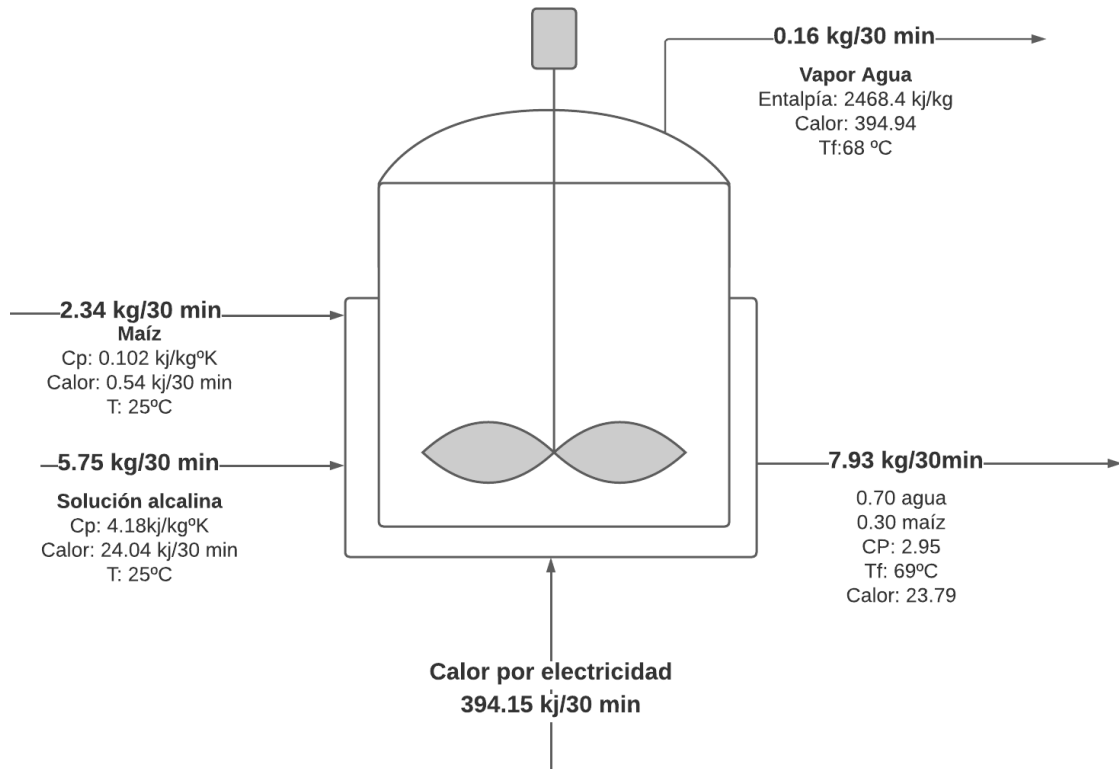
Figura 25. Balance de masa del empaçado



Balances de energía

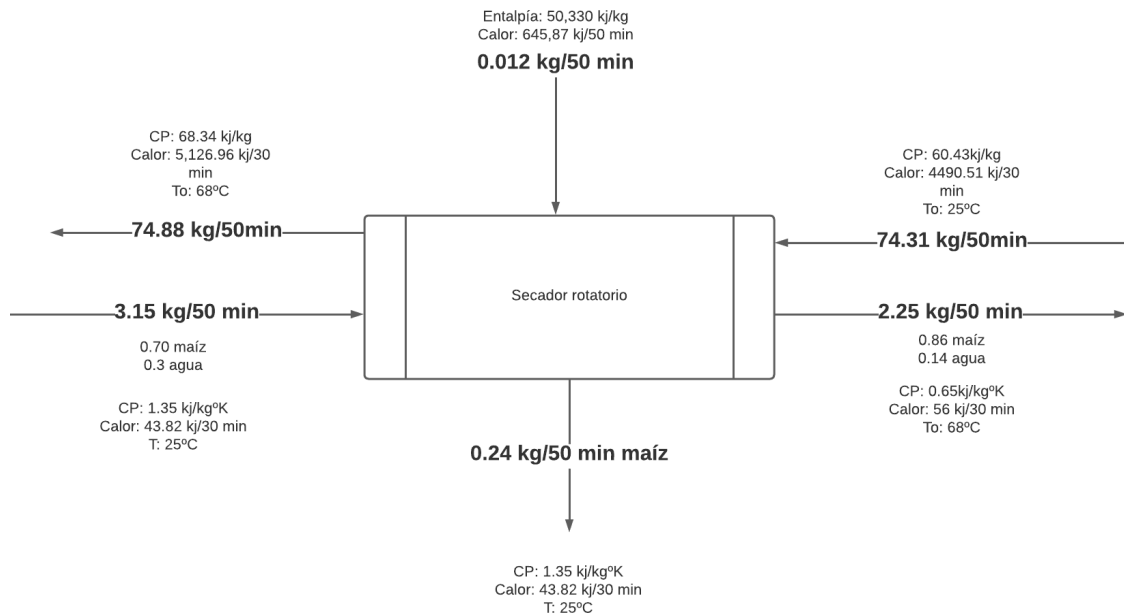
1. Balance de energía de la cocción

Figura 26. Balance de energía de la cocción



2. Balance de energía del secador rotatorio

Figura 27. Balance de energía del secador rotatorio



Análisis costo beneficio de la fortificación

1. Análisis de mercado

Cuadro 22. Costos de la producción de harina

Materia prima	Unidades y dimensionales	Costo
Maíz	599.85 g	\$1.35
<i>Salvia hispánica</i>	399.83 g	\$11.19
Cal	23.00 g	\$0.03
Agua	3000.00 g	\$0.03
Vitamina C	0.45 g	\$0.11
Gas propano	12.00 g	\$0.14
Energía secadora	0.18 kWh	\$0.47
Energía Nixtamalización	0.10 kWh	\$0.29
Costo Total por 1000 g		\$13.61
Costo por gramo		\$0.013

Cuadro 23. Precios estimados para la harina de maíz fortificada y su mercado potencial (presentación pequeña)

Incremento de precio vs precio de mercado	Costo por gramo (Q/g)	Precio por gramo (Q/g)	Margen ganancia %	Precio (Q)	Porcentaje poblacional (%)	Mercado potencial (personas)
10% a 20%	0.013	0.014	7%	12.34	62.3%	335770
21% a 40%	0.013	0.020	35%	17.28	17%	57081
41% a 60%	0.013	0.032	60%	27.65	2.4%	1370
80% o más	0.013	0.058	78%	49.76	0.9%	12

Precios para harina en presentación pequeña, capacidad de tortillas por empaque de 42, gramaje de 857.14 g, el precio promedio del mercado es de Q10.34. Cuenta con un público potencial de 538,956 personas.

Cuadro 24. Precios estimados para la harina de maíz fortificada y su mercado potencial (presentación mediana)

Incremento de precio vs precio de mercado	Costo por gramo (Q/g)	Precio por gramo (Q/g)	Margen ganancia %	Precio (Q)	Porcentaje muestral (%)	Mercado potencial (personas)
10% a 20%	0.013	0.014	7%	29.39	62.3%	335770
21% a 40%	0.013	0.020	35%	41.14	17%	57081
41% a 60%	0.013	0.032	60%	65.83	2.4%	1370
80% o más	0.013	0.058	78%	118.49	0.9%	12

Precios para harina en presentación mediana, capacidad de tortillas por empaque de 100, gramaje de 2040.82 g, el precio promedio del mercado es de Q27.25. Cuenta con un mercado potencial de 538,956 personas.

Cuadro 25. Precios estimados para la harina de maíz fortificada y su mercado potencial (presentación grande)

Incremento de precios vs precio de mercado	Costo por gramo (Q/g)	Precio por gramo (Q/g)	Margen ganancia %	Precio (Q)	Porcentaje muestral (%)	Mercado potencial (personas)
10% a 20%	0.013	0.014	7%	58.78	62.3%	335770
21% a 40%	0.013	0.020	35%	82.29	17%	57081
41% a 60%	0.013	0.032	60%	131.66	2.4%	1370
80% o más	0.013	0.058	78%	236.98	0.9%	12

Precios para harina en presentación grande, capacidad de tortillas por empaque de 200, gramaje de 4081.63 g, el precio promedio del mercado es de Q46.45 Cuenta con un mercado potencial de 538,956 personas.

Cuadro 26. Resultados del consumo de harinas en el estudio de mercado

Muestra	384 personas
Población	538,956 personas
Porcentaje muestral de personas que consumen de 1 a 3 tortillas diarias	61%
Porcentaje muestral de personas que consumirían harinas con más nutrientes	81.5%
Porcentaje muestral de personas que se preocupan por los nutrientes consumidos en el día	65.6%
Porcentaje muestral de personas dispuestas a pagar un aumento de precio en las harinas	82.5%
Porcentaje muestral de personas dispuestas a pagar entre 10% a 20% más	62.3%
Porcentaje muestral de personas que les gusta 10 en una escala del 1 al 10 el sabor del chan siendo 10 el gusto más alto	31%
Porcentaje muestral de personas dispuestas a consumir harinas fortificadas con Salvia hispánica	55.7%
Porcentaje muestral de personas dispuestas a consumir harinas fortificadas con Salvia hispánica si no cambia el sabor.	23.6%

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo principal del trabajo es la producción de harinas de maíz nixtamalizadas fortificadas con *Salvia hispánica*, para esto se decidió utilizar un porcentaje peso peso del 40% de harina *Salvia hispánica* (Chía) y 60% de peso de harina de maíz nixtamalizada. También para mejorar los nutrientes de las harinas se decidió incorporar una fuente de vitamina C siendo 45 mg por 100g de harina. Se vio un aumento en el valor de macronutrientes aumentando las proteínas en 2.5g, las grasas 10.78 g y la fibra dietética aumentó 11.23 g por una porción de 100 g. En cuanto a los micronutrientes se vio un aumento de 195.83 mg más de Calcio, 289.74 mg de Fósforo y 45 mg más de Vitamina C por una porción de 100 g. Cabe mencionar que micronutrientes como el hierro, tiamina, niacina y riboflavina tuvieron una disminución en el contenido nutricional ya que son componentes que no se encuentran en cantidades significativas en la *Salvia hispánica*. Debido a esto se recomienda que se puedan generar planes nutricionales para balancear las dietas con las tortillas actuales y con las tortillas fortificadas.

Se determinó que el contenido de ácido fólico, vitamina B12 y Folato se mantuvo con el mismo valor porque no se encuentran presentes en los granos de maíz nixtamalizados y en los granos de *Salvia hispánica*. Es importante tomar en cuenta que los micronutrientes se pueden adicionar a las harinas. Se recomienda que para futuras formulaciones se adicionen micronutrientes que hagan falta en la población, para balancear la dieta de los guatemaltecos. En cuanto a los macronutrientes se vio una reducción del 17% en los carbohidratos presentes en las harinas, sin embargo, por 100g de harina fortificada se obtiene el 23% de los carbohidratos que se deben de consumir al día, comparada con 100 g de harina nixtamalizada que representa el 27% de carbohidratos no se observa una diferencia significativa porque la falta de carbohidratos se compensa con fibras y proteínas. La harina fortificada por el presenta un aumento del contenido energético, la harina fortificada al 40% con *Salvia hispánica* contiene 50 kcal más que la harina normal por 100g ayudando a que se puedan cumplir con el requerimiento energético de kcal de la FDA. El valor de calorías que se deben consumir al día actualmente es de 2000 kcal (FDA, 2022).

Se realizaron diferentes comparativas de los micro y macronutrientes de la harina de maíz, harina de maíz nixtamalizada y la harina fortificada. En la comparativa de los porcentajes de cambio de la harina de maíz se determinó que los micronutrientes aumentaban con la

fortificación de *Salvia hispánica*. Se vió un aumento del hierro del 82%, en la Tiamina del 243%, en la riboflavina del 463% y de la vitamina A del 450%. Sin embargo, al realizar el análisis con la Harina fortificada con *Salvia hispánica* y la Harina de maíz nixtamalizado se vió en el hierro, la tiamina, la riboflavina y en la Vitamina A una disminución porcentual. La disminución porcentual de los componentes, esto se debe a que la *Salvia hispánica* no brinda un aporte significativo de los mismos. La obtención de los micronutrientes se debe al proceso de la nixtamalización en dónde se ayuda a que la corteza del grano se debilite permitiendo la exposición y obtención de los micronutrientes.

Se debe de mencionar que ninguna de las tres harinas posee contenido de ácido fólico el cuál es vital para la nutrición de mujeres en edad reproductiva, ya que se tiene como valor diario de 400 mcg y no se encuentra en las harinas de maíz. Esto puede afectar a los embarazos y generar defectos en el nacimiento de los niños por el desarrollo de enfermedades como la espina bífida. Se recomienda que para la comercialización de la harina de maíz se puedan realizar fortificaciones con ácido fólico para prevenir enfermedades en recién nacidos y asegurar una nutrición adecuada en mujeres de edades fértiles.

Se lograron determinar las operaciones unitarias necesarias para la realización de harina de maíz nixtamalizada fortificada a nivel laboratorio, siendo limpieza, mezclado de solución salina, nixtamalización la cual consiste en una cocción de media hora del maíz dentro de la solución alcalina y luego un reposado de 16 horas del maíz junto a la solución alcalina. Posteriormente al Nixtamalizado procedemos a realizar un filtrado del maíz de la solución alcalina. Después del filtrado pasamos al secado para lograr que los granos lleguen a una humedad del 10% al 15% para que se puedan moler sin tener acumulaciones significativas en el molino. Al tener los granos en la humedad deseada se puede pasar a molerlos en el molidor de rodillos y así obtener la disminución que se desea en el tamaño de los granos para hacer la harina. Se tamizan los granos para obtener partículas que se encuentren en el Mesh No 40 al mesh No.100. La siguiente operación es la de mezclar en base a la formulación deseada. Se vió que el proceso cuenta con una eficiencia del 31% de producción de harina por peso ingresado. Esto quiere decir que se cuentan con el 69% de pérdidas a lo largo del proceso. La principal fuente de error fue en el secador rotatorio ya que los granos no cuentan con un secado homogéneo ya que no tienen el mismo tiempo de residencia en el secador. Para lograr la homogeneidad de la humedad en los granos se recomienda hacer una recirculación en el proceso de secado para evitar las acumulaciones por humedad en la molienda. También se

recomienda que en lugar de usar el secador rotatorio se pueda utilizar el secador de bandejas ya que permite tener un mayor control en la deshidratación de los granos porque se puede manejar de manera más eficiente el tiempo de residencia de estos. Debido a que el secado no fue homogéneo se vieron varias acumulaciones del maíz en el molino de martillos debido a que las partículas sólidas se apelmazan en especial el lote 3.

Cabe mencionar que uno de los procesos con pérdidas significativas fue el del tamizado, esto se debe a que los residuos de la molienda que se encuentran mezclados con la harina obtenida se pierden en este proceso. Las pérdidas se dan por partículas sólidas que no se encuentran en el perfil granulométrico de las harinas, pueden venir de granos con alta corteza y debido a eso no se logra disminuir el tamaño de los granos de harinas. Sería de suma importancia contemplar recirculaciones al molino de martillos para aumentar la eficiencia de extracción de harinas en el tamizado. El mayor porcentaje de sólidos retenidos en el tamizado de la molienda de maíz nixtamalizado se da en el mesh No.20 con 29.75% de los sólidos retenidos y en el mesh No.45 con 22.09%. Para la harina de la *Salvia hispánica* se ve una distribución más lineal en los porcentajes y también se ve que en el mesh No.20 se tiene una retención de sólidos del 22.56% y en el mesh No.30 con 20.74%. En el proceso de tamizado para el maíz se vió una producción del 44.63% de harina y para el proceso de tamizaje de la harina de *Salvia hispánica* se vio una producción de harinas del 42%. Es importante resaltar que sólo los sólidos retenidos en los mesh No. 40 a 100 son considerados como harinas. Debido a los porcentajes de producción de harinas se recomienda empezar el estudio de recirculaciones al molino de martillos con los residuos del tamizado.

Para generar los balances de energía se determinaron las capacidades caloríficas por medio de un promedio ponderado dependiendo del porcentaje de humedad de los granos de maíz. Se utilizó un aproximado de la capacidad calorífica del maíz nixtamalizado, ya que solo se tomó en cuenta la capacidad calorífica de los granos de maíz normales. Esta suposición se realizó para la simplificación de los cálculos, esta simplificación puede generar variaciones en los requerimientos de energía, sin embargo, los cambios en la nixtamalización no afectarían mucho el valor de la capacidad calorífica por los componentes y fracciones de la cal dentro del maíz. Es necesario hacer un análisis de la capacidad calorífica de los granos en el secador para obtener mayor exactitud en los requerimientos energéticos del sistema.

En los requerimientos energéticos se determinó que se deben de ingresar 1040.02 kj en el

proceso para lograr fortificar la harina de maíz nixtamalizado con *Salvia hispánica*. Las operaciones que tienen requerimientos energéticos son la de cocción y la del secado. Los valores de energía agregada se determinan a partir de los balances de energía y del calor que se requiere para hacer los cambios en el agua o en los fenómenos de evaporación en la cocción.

En cuánto al mercado de la harina de maíz fortificada, en base al panel sensorial y al estudio de mercado se vió que las tortillas fortificadas cuentan con un cambio de sabor significativo a las tortillas normales. Sin embargo, en los temas de apariencia se vió una menor percepción del cambio. Las tortillas realizadas con la harina fortificada cuentan con un color marrón similar al de la *Salvia hispánica* y en los encuestados el sabor que más se sentía era amargo. La principal fuente de error o porqué las personas sentían esas notas fue por el tiempo y manera de almacenaje de la *Salvia hispánica* a lo largo de la experimentación. Se recomienda dejar las materias primas en almacenes a temperatura ambiente y alejados de la humedad para que los ingredientes tengan un mejor sabor al ser consumidos, la manera de almacenaje de los productos y subproductos es importante para evitar la formación de microorganismos y mantener la inocuidad de los alimentos.

En cuánto al análisis de los consumidores y la percepción de la fortificación el 17.5% de los encuestados no estaría dispuesto a pagar un mayor porcentaje por las harinas que consumen. Esto puede ser un factor de riesgo

al implementar la comercialización de las harinas fortificadas ya que el precio aumenta al tener mayor calidad nutricional. El principal objetivo de las harinas es aumentar el porcentaje de micro y macronutrientes para ayudar a las dietas nacionales. La *Salvia hispánica* es una semilla que puede ser cultivada en toda la región de Guatemala, por lo que es importante concientizar a la población de sus usos y beneficios de la alimentación. Posteriormente se recomienda generar alianzas que ayuden a impulsar las plantaciones de este cultivo en comunidades que tengan necesidades nutricionales, para lograr una autogestión de los nutrientes y evitar costos de compra. El 70.5% de las personas encuentra agradable el sabor de la chía con una calificación de 7 a 10 en una escala de 1 a 10, siendo 10 el indicador más alto. Sin embargo, al hacer la fortificación en las harinas para la producción de tortillas, hay un sesgo que busca el sabor más familiar de las tortillas, pero muchas de las notas del producto final son amargas. Debido a esto, el 31.8% nota una diferencia en el sabor de las tortillas con una valoración de 10 en una escala de 1 a 10, siendo 10 el mayor cambio de sabor. Se

recomienda analizar diferentes formulaciones para determinar cuál sigue recibiendo un valor nutricional significativo y se tiene una percepción de gusto por los consumidores.

Cabe mencionar con base en el marco teórico y, a la experimentación, los alcances se basan en el maíz blanco, el cuál es cultivado para el consumo doméstico. Actualmente el país es autosuficiente en la producción del maíz blanco para sus subproductos (97.7% de lo que se logra cultivar en el país). La principal diferencia de la experimentación realizada es que se está buscando disminuir la brecha del acceso a los micro y macronutrientes a través de una fortificación a un producto consumido por alrededor del 90% de la población. En otros estudios y productos comerciales, se ve que no implementan un nuevo producto que se tenga que adicionar a las dietas de los consumidores, las tortillas con harina fortificada ayudan a que esos nutrientes puedan llegar con los mismos patrones de consumo actuales. Los datos experimentales y cálculos son válidos a temperatura ambiente de 25°C y una presión atmosférica de 0.98 atm.

IX. CONCLUSIONES

1. Se logró aumentar el contenido de macronutrientes de la harina de maíz nixtamalizado fortificado con el 40% de *Salvia hispánica*. Las proteínas aumentaron 2.5 g, las grasas, 10.78 g y la fibra dietética, aumentó 11.23 g por una porción de 100 g. Se obtuvo el porcentaje de valor diario de los macronutrientes 72.5% grasas, 23.02% de carbohidratos, 55.93% fibras y el 23.70% de proteínas. El contenido de micronutrientes también aumentó con la fortificación obteniendo 195.83 mg más de calcio, 289.74 mg de Fósforo y 45 mg más de vitamina C. Para los micronutrientes se obtuvo el porcentaje de valor diario de 22% de zinc, 50% de Vitamina C, 55.93% de fibras y 23.70% de proteínas. El contenido calórico de la harina de maíz fortificada aumentó 50 kcal al fortificar la harina con 40% de *Salvia hispánica*.
2. Se tienen 9 operaciones unitarias para producir harina fortificada a nivel laboratorio, tratamiento preliminar, preparación de solución alcalina, cocción para la nixtamalización, filtrado, secado, molienda, tamizado, fortificación y empaque. El rendimiento del proceso fue de 31.41% produciendo 2.94 kg de harina de maíz por 9.36 kg ingresados a nivel laboratorio. Se determinó que en el tamizado dio el 10.98% de pérdidas del maíz ingresado, 7% en el secado, 6% en el filtrado y 19.55% en el molino de martillos. Por medio de los balances de energía, se determinó que para la producción de 2.94 kg de harina de maíz nixtamalizado fortificado al 40% con *Salvia hispánica* se necesitan 1040.02 kj. Las fuentes de energía se usan para la cocción y el secado, los demás procesos utilizan energía eléctrica.
3. Por medio del estudio de mercado, se determinó que el 82.6% del público objetivo está dispuesto a pagar más por harinas con mejor calidad nutricional. Los empaques de harina de maíz fortificada al 40% con *Salvia hispánica* deben de tener un aumento de precios del 20% para alcanzar un mercado potencial más amplio. Se determinó con base en el panel sensorial y las pruebas del producto que por 1000 g de harina fortificada se pueden realizar 49 tortillas con un diámetro de 12 cm y un peso promedio de 20.41 g. Las principales notas que se sienten en el producto son amargas con un cambio de sabor distintivo a comparación de las tortillas convencionales.

X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda analizar cultivos de chíá para las localidades marginales de Guatemala con el fin favorecer la disminución de costos de la *Salvia hispánica* en la fortificación de harina de maíz.
2. Se recomienda hacer evaluaciones genéticas en la fortificación de maíz y así comparar los costos de la implementación de *Salvia hispánica* para la fortificación de maíz contra las modificaciones genéticas en los granos.
3. Se recomienda generar planes nutricionales para la introducción de las tortillas con el fin de que las personas puedan adquirir patrones de consumo más saludables y generar un balance entre los contenidos nutricionales de la nixtamalización y la fortificación.
4. A nivel industrial, se recomienda usar el secador de bandejas, ya que la humedad en los granos no era homogénea en el secador rotatorio.
5. Se recomienda que con los residuos del proceso de maíz se genere una economía circular mediante bioetanol, en especial con los residuos que se obtienen en el tamizado ya que no se puede comercializar harina que no se encuentre en los mesh con malla de 40 a 100.
6. Para mejorar el contenido de micronutrientes, se recomienda agregar ácido fólico y vitamina B12, ya que no son compuestos que se encuentran en el maíz.
7. Se recomienda la evaluación de diferentes harinas de fuente vegetal que puedan sembrarse en la región de Guatemala para elaborar propuestas nutricionales que ayuden a disminuir la brecha de nutrientes. Se recomienda hacer fortificaciones con harina de *Phaseolus vulgaris* (frijol) y *Moringa oleifera lam* (moringa).
8. Se recomienda generar planes gubernamentales para facilitar el acceso de la población a alimentos con mayores contenidos nutricionales así asegurar la viabilidad de las propuestas de fortificación de tortillas con fuentes vegetales.
9. Se recomienda hacer formulaciones de harinas de maíz que contengan un mayor contenido de folato, ácido fólico y vitamina B12 debido a que son micronutrientes que no se encuentran en los granos de maíz nixtamalizados ni en la *Salvia hispánica*.
10. Se recomienda hacer paneles sensoriales con diferentes formulaciones de la harina para mejorar el sabor y percepción de las tortillas fortificadas.

XI. REFERENCIAS

- Acción contra el hambre. (2022). *Guatemala el país de Latinoamérica con más desnutrición crónica*. <https://www.accioncontraelhambre.org/es/guatemala-el-pais-de-america-latina-con-mas-desnutricion-cronica>
- Aldana. (2005). *Ingredientes, características funcionales, costo de producción y precio de las tortillas elaboradas artesanalmente en algunos municipios de los departamentos de Jutiapa y Totonicapán*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2309.pdf
- Amaro R. (s. f.). *Nixtamal tradición y nutrición*. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1203-nixtamal-tradicion-y-nutricion>
- Cano. (2019). *Sustitución parcial de masa de maíz nixtamalizada con harina de plantas nativas en Mazatenango*. <https://core.ac.uk/download/224836035.pdf>
- Carrillo. (2022). *La chía como super alimento y sus beneficios en la salud y en la piel*. <https://www.medigraphic.com/pdfs/residente/rr-2017/rr171c.pdf>
- Castillo. (2022). *Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal*. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2009/4/art-11/>
- Centro Latinoamericano para el desarrollo rural (RIMISP). (2022). *Territorios funcionales rurales-urbanos en Guatemala*. <https://www.rimisp.org/noticia/territorios-funcionales-rural-urbanos-en-guatemala-la-causa-de-la-pobreza-no-es-la-ruralidad-sino-el-abandono-que-el-estado-ha-tenido-historicamente-a-esas-areas/>
- Consejo Centroamericano de procuradores de derechos humanos. (2008). *Políticas públicas regionales en la reducción de pobreza en Centroamérica*. <https://www.corteidh.or.cr/tablas/27138.pdf>
- CTA. (2022). *Situación actual del consumo de maíz*. <https://www.icta.gob.gt/maiz>
- DatosMacro. (2022). *Guatemala economía y demografía*. <https://datosmacro.expansion.com/paises/guatemala>
- DeGuate. (2022). *Guatemala uno de los principales consumidores de tortilla a nivel latinoamericano*. <https://www.deguate.com/economia/economicas/guatemala->

[uno-de-los-principales-consumidores-de-tortilla-a-nivel-latinoamericano.shtml#comentarios](#)

Di Sapia (2022). *Chía importante antioxidante vegetal*.

https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/1249/Chia_AM24.pdf;sequence=1

FAO. (2000). *Acuerdo Gubernativo N° 021/2000 reglamento para la fortificación de azúcar con vitamina A*. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC156637/>

FAO. (2022). *Varietades de maíces*. <https://www.fao.org/guatemala/noticias/detail-events/es/c/1151952/>

Flores. (2018). *Desarrollo de una bebida de naranja fortificada con chía*.

http://biblioteca.galileo.edu/tesario/bitstream/123456789/1182/1/2018-T-lcta-023_flores_barrios_roberto.pdf

Fuente. (2002). *Cultivo de maíz en Guatemala*:

<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf>

GIFNA. (2023). *Base de datos global en la implementación de la nutrición*.

<https://extranet.who.int/nutrition/gina/sites/default/filesstore/COMIECO%20202011%20Etiquetado%20Nutricional%20de%20Productos%20Alimenticios%20Preenvasados%20para%20Consumo%20Humano.pdf>

Gobierno Mexicano (GOBMX). (2017). *Planeación agrícola nacional*.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf

Heat and Control. (2022). *Lavador de maíz*. <https://es.heatandcontrol.com/model/corn-washer>

Heat and Control. (2022). *Sistemas de cocción de maíz*.

<https://es.heatandcontrol.com/products/corn-cooking>

Herrera. (2022). *Prototipo de desgranadora de maíz para el mejoramiento del proceso*.

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tepeji/n8/a16.html>

Instituto de estadística. (INE). *Canasta Básica Alimentaria*.

<https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2020/03/06/20200306182250pitgdylaXKnuv2hitmzmHStKP0XKbWLU.pdf>

- Instituto de nutrición Centro América y Panamá INCAP. (2022). *Tabla de composición de alimentos de centroamerica*.
<http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAAlimentos.pdf>
- LeadTop. (2022). *Automatic high efficient lifting mixer*:
<https://www.osdmachinery.com/portfolio/items/yha-2a-automatic-high-efficient-lifting-mixer- stainless-steel-mixing-machine>
- MAGA. (2017). *Hoja de Balance de abastecimiento*.
https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/publicaciones_diversas/Hoja%20de%20Balance%20y%20Abastecimiento%20de%20Ma%C3%A1z%202016-2017.pdf
- MAGA. (s. f.). *Informe de situación de maíz blanco*.
[https://www.maga.gob.gt/download/informe_situacion_maiz_blanco\(2\).pdf](https://www.maga.gob.gt/download/informe_situacion_maiz_blanco(2).pdf)
- Mercola. (2017). *Nixtamalización*. <https://consumidoresorganicos.org/2017/12/07/nixtamalizacion-este-proceso-tradicional- aumenta-formidablemente-la-aportacion-nutricional-las-tortillas-maiz/>
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2021). *Acuerdo 128-2021*. <https://sgp.gob.gt/wp-content/uploads/2021/07/AG-128-2021-1.pdf>
- Navarro. (2019). *Evaluación de sustitución de harinas*.
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/230/2301196014/2301196014.pdf>
- Ochoa O. (2011). *Son los frijoles un superalimento*.
<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-637411>
- Orchardson. (2021). *¿Qué es la nixtamalización?*. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/que-es-la-nixtamalizacion/>
- Pollak. (2022). *Lavadora agroalimentaria de maíz*. <https://www.directindustry.es/prod/pollak-sala/product-210051-2135797.html>
- Roque L. (2016). *Nixtamalización*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n6/1405-3195-agro-50-06-00727-en.pdf>
- Samfull. (2022). *Envasadora vertical de harinas*. https://www.samfulles.com/ensavadora-de-harina/flour-vffs-machine.html?gclid=CjwKCAjwsfuYBhAZEiwA5a6CDKjoDmSA0umevfCp6sUb4u7ZKHCizeSzC6xrXk4DQY9iphSsN5R1BoCaToQAvD_BwE
- Sisa A. (2017). *Desarrollo de pan fortificado con semillas de chía molida destinado al desayuno escolar en la industria panificadora INPASA en Cochabamba*.

http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/jbc/v13n39/v13n39_a04.pdf

STE. (2021). Secador Rotatorio: *Introducción principal*.

https://es.tianlienergy.com/product/PRODUCTS_63697/Rotary_Dryer.html?clid=CjwKCAjwlqOXBhBqEiwAhhitHUZIzRf_LknPLwrG320_lMymoFhSaj2bg34ujXKKj739figPxq3nxoCWYAQAvD_BwE

U.S. Food and Drug Administration. (2022). *Cantidad de calorías diarias*.

<https://www.fda.gov/food/nutrition-education-resources-materials/cantidad-de-calorias-en-el-menu>

U.S. Food and Drug Administration. (2022). *Valor diario y porcentaje de valor diario. Cambios en las nuevas etiquetas de información nutricional y diaria*.

<https://www.fda.gov/media/137914/download>

Unicef. (2021). *Desnutrición en Guatemala*. <https://www.unicef.es/noticia/desnutricion-en-guatemala>

Unicef. (2021). *El 49.8% de los niños sufre desnutrición crónica en Guatemala*.

<https://www.unicef.es/noticia/en-guatemala-el-498-de-los-ninos-sufre-desnutricion-cronica-maria-claudia-santizo-oficial>

Universidad de Barcelona. (2022). *Pesada*. <http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/pesada.html>

Xian Feng. (2017). *Secador de tambor rotativo*. <http://www.czxf.cn/es/1-2-rotary-drum-dryer.html>

XII. ANEXO

A. Cálculos de muestras:

1. Balance de materia:

- Balance general
 - $m_1 H_2O + m_2 CaOH + m_3 \text{maíz} + m_4 \text{fortificantes} = m_5 \text{Harina fortificada} + m_6 \text{pérdidas}$
 - $X \text{ kg } H_2O + X \text{ kg Hidroxido de calcio} + X \text{ kg Maíz} + X \text{ kg fortificante} = X \text{ kg Harina fortificada} + x \text{ kg pérdidas}$

- Balance en el pre tratamiento:
 - $m_1 \text{maíz} = m_1 \text{maíz válido} + m_6 \text{maíz desecho}$
 - $X \text{ kg maíz} = x \text{ kg maíz válido} + x \text{ maíz desechado}$

- Balance en la solución alcalina
 - $m_1 H_2O + m_2 CaOH = m_7 \text{solución alcalina} + m_6 \text{pérdidas de solución}$
$$X \text{ kg } H_2O + 0.004 X \text{ kg Hidroxido de calcio} = x \text{ kg solución alcalina} + x \text{ pérdidas}$$

- Balance en el tanque de nixtamalización
 - $m_1 \text{maíz} + m_7 \text{sol alcalina} = m_8 \text{maíz nixtamalizado} + m_6 \text{Pérdidas nixtamalización}$
 - $X \text{ kg maíz} + x \text{ kg sol. Alcalina} = x \text{ kg Maíz Nixtamalizado} + x \text{ kg pérdidas}$

- Balance en el secador
 - $m_8 \text{maíz nixtamalizado} = m_9 \text{maíz nixtamalizado seco} + m_6 \text{pérdidas de secado}$
 - $X \text{ kg maíz Nixtamalizado} = x \text{ kg Maíz Nixtamalizado seco} + x \text{ kg pérdidas}$

- Balance en la molienda
 - $m_9 \text{maíz nixtamalizado seco} = m_{10} \text{harina de maíz} + m_6 \text{pérdidas molienda}$
 - $X \text{ kg maíz Nixtamalizado seco} = x \text{ kg Harina de maíz} + x \text{ kg pérdidas}$

- Balance en mezclado
 - $m_{10} \text{harina de maíz} + m_4 \text{fortificantes} = m_5 \text{harina fortificada}$
 - $x \text{ kg Harina de maíz} + y \text{ kg fortificante} = xy \text{ kg harina fortificada}$

2. Balance de energía

- Balance general de energía:
 - $m_1H_1 + m_2H_2 + m_3H_3 + m_4H_4 - m_5H_5 - m_6H_6 = Q$
- Balance de energía del secado:
 - $Q = \text{Calor de vapor de agua} + \text{calor de maíz de salida} - \text{calor de maíz de entrada}$.
 - Las entalpías de las soluciones se calcularon por medio de las fracciones de humedad registradas del maíz.

3. Costos

- Costo:
 - $\text{Costo/gramos producto} = \text{costo por gramo}$
- Costo de energía:
 - $\text{Energía usada (kWh)} * \text{Costo (kWh)} = \text{costo energía}$
- Costo Total:
 - $\text{Costo materia prima} + \text{costo energía} = \text{costo total}$

B. Preparación Solución alcalina

1. Condiciones iniciales.

Cuadro 27. *Condiciones iniciales*

No	Materia prima de maíz (kg)	Litros de agua por kg(L/kg)	Agua usada (L)
1	2.34	3	7
2	2.34	3	5
3	2.34	3	5
4	2.34	3	6

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 28. *Condiciones iniciales (solución alcalina)*

Lote	Litros usados (L)	Solución alcalina(g/L)	Cal para solución(g)	Concentración (g/L)	Agua (kg)
1	7	4	28	4	7
2	5	4	20	4	5
3	5	4	20	4	5
4	6	4	24	4	6
Promedio	5.75	4	23	3	5.75

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Evidencia fotográfica de solución alcalina

Figura 28. evidencia fotográfica de la preparación de solución alcalina



C. Proceso de cocción

Cuadro 29. Cocción del maíz con cal para la nixtamalización

Lote	Tiempo de cocción (min)	Temperatura decocción (°C)	Temperatura final de cocción(°C)
1	30	40	68
2	30	55	85
3	30	55	55
4	30	45	68
Promedio	30	48.7 5	69

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 29. Evidencia fotográfica de la cocción



D. Proceso de reposado:

Cuadro 30. Reposado del maíz

No	Tiempo de reposado (h)
1	16
2	16
3	16
4	16
Promedio	16

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 31. Pesos de cubetas en el reposado

No	Horas de reposado	Pesos de reposado concubeta (kg)	Pesos de cubeta(kg)	Pesos de reposado sin cubeta(kg)
1	16	9.50	0.34	9.16
2	16	7.43	0.34	7.09
3	16	7.53	0.34	7.19
4	16	8.63	0.34	8.29
Promedio	16	8.27	0.34	7.93

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 30. Evidencia fotográfica del reposado



E. Proceso de filtrado

Cuadro 32. Datos originales del filtrado

Balance de masa del filtrado			
Lote	Peso del reposado (kg)	Peso de agua filtrada(kg)	Peso inicial del maíz (kg)
1	9.16	6.08	3.08
2	7.09	4.11	2.98
3	7.19	3.89	3.3
4	8.28	5.02	3.26
Promedio	7.93	4.77	3.15

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 33. Datos calculados del filtrado

Lote	Fracción de agua	Fracción de maíz	Peso inicial del maíz (kg)	Agua (kg)	Maíz (kg)
1	0.29	0.71	3.08	0.91	2.16
2	0.29	0.71	2.98	0.88	2.09
3	0.34	0.66	3.3	1.11	2.19
4	0.29	0.71	3.26	0.97	2.28
Promedio	0.30	0.70	3.15	0.96	2.18

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 34. *Balances de masa del proceso del filtrado*

Balances de masa del proceso de filtrado			
No	Peso inicial del maíz (kg)	Peso de maíz después del filtrado (kg)	Pérdidas del filtrado (kg)
1	2.34	2.16	0.18
2	2.34	2.09	0.25
3	2.34	2.19	0.15
4	2.34	2.28	0.06
Promedio	2.34	2.18	0.16

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 31. *Evidencia fotográfica del filtrado*



Figura 32. Evidencia fotográfica 2 del filtrado



F. Proceso de secado

1. Balances de masa

Cuadro 35. Balance de masa del maíz nixtamalizado en el secador

Balance de masa del maíz			
No	Peso inicial del maíz (kg)	Peso final del maíz (kg)	Pérdidas y acumulaciones (kg)
1	3.08	1.55	1.53
2	2.98	2.34	0.64
3	3.3	2.51	0.79
4	3.26	2.66	0.6
Promedio	3.15	2.26	0.89

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 36. *Balances de masa de agua y maíz antes del secado*

No	Fracción de agua	Fracción de maíz	Peso inicial del maíz (kg)	Agua (kg)	Maíz (kg)
1	0.29	0.71	3.08	0.91	2.16
2	0.29	0.71	2.98	0.88	2.09
3	0.33	0.66	3.3	1.10	2.19
4	0.29	0.71	3.26	0.97	2.28
Promedio	0.30	0.70	3.15	0.965	2.18

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Porcentajes de humedad

Cuadro 37. Porcentajes de humedad en el lote 1

Rotación	25
Lote	1
Tiempo (min)	Humedad (%)
0	29.82
20	28.13
30	27.86
40	22.7
50	13.42

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 38. Porcentajes de humedad en el lote 2

Rotación	30
Lote	2
Tiempo (min)	Humedad (%)
0	29.82
15	24.42
25	22.77
40	21.85
50	14.41

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 39. Porcentajes de humedad en el lote 3

Rotación	35
Lote	3
Tiempo (min)	Humedad (%)
0	33.52
15	29.82
25	16.23
40	17.78
50	12.72

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 40. Porcentajes de humedad en el lote 4

Rotación	40
Lote	4
Tiempo (min)	Humedad (%)
0	29.82
15	26.52
25	20.97
40	20.64
50	15.17

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 41. Porcentajes de humedad promedio

Humedad				
Lote	Hertz	Porcentaje de humedad inicial	Porcentaje de humedad final	Porcentaje de disminución de humedad
1	25	29.82	13.42	16.4
2	30	29.82	14.41	15.41
3	35	33.52	12.72	20.8
4	40	29.82	15.17	14.65
Promedio	32.5	30.74	13.93	16.81

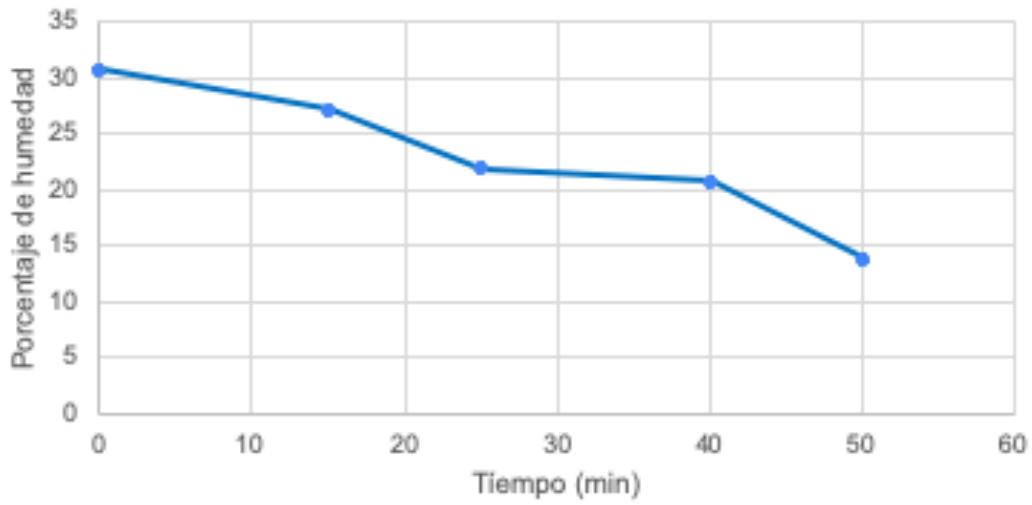
Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 42. Porcentajes de humedad en el tiempo

Tiempo (min)	Porcentaje de humedad promedio (%)
0	30.745
15	27.2225
25	21.9575
40	20.7425
50	13.93

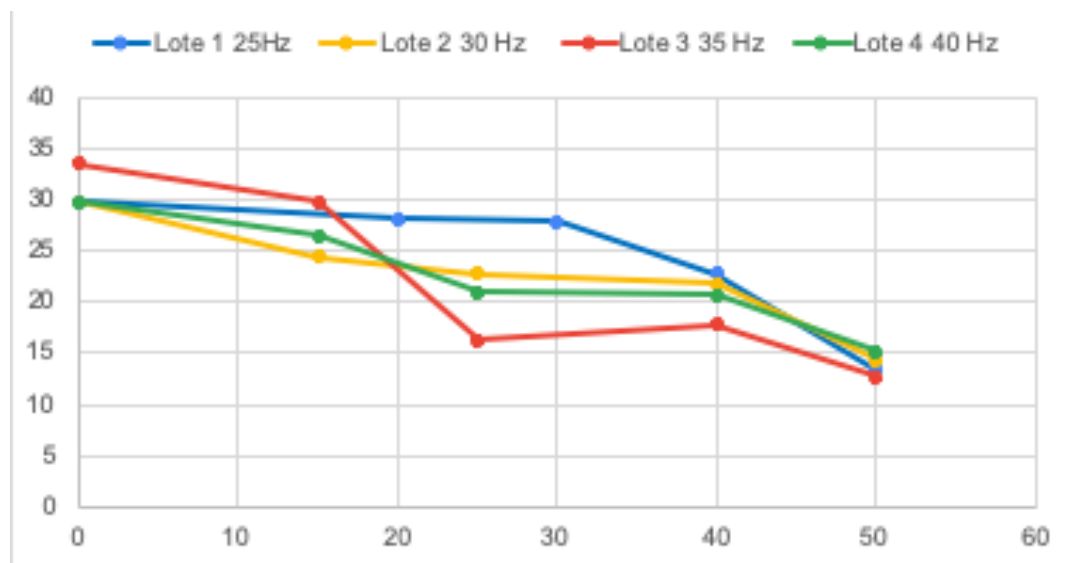
Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 33. cambio de humedad en el tiempo promedio



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 34. Cambio de humedad con base en los hertz usados



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

3. Balances de masa después del secado

Cuadro 43. Balance de masa después del secado

Balance de masa después del secado						
No	Fracción de agua	Fracción de maíz	Peso inicial del maíz (kg)	Agua (kg)	Agua evaporada (kg)	Maíz (kg)
1	0.13	0.86	1.55	0.20	0.71	1.34
2	0.14	0.85	2.34	0.33	0.55	2.00
3	0.12	0.87	2.51	0.31	0.79	2.19
4	0.15	0.84	2.66	0.40	0.57	2.25
Promedio	0.13	0.85	2.26	0.31	0.65	1.94

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 44. Balance de masa del maíz en el proceso de secado

Balance de masa después del secado							
No	Maíz inicial (kg)	Maíz final (kg)	Pérdidas de maíz (kg)	Agua inicial (kg)	Agua en maíz final (kg)	Agua evaporada (kg)	Peso total (kg)
1	2.16	1.34	0.82	0.91	0.20	0.71	1.54
2	2.09	2.00	0.09	0.88	0.33	0.55	2.33
3	2.19	2.19	0	1.10	0.31	0.79	2.5
4	2.28	2.25	0.03	0.97	0.40	0.57	2.65
Promedio	2.18	1.945	0.235	0.965	0.31	0.655	2.255

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

4. Entalpías en proceso de secado

Cuadro 45. *Entalpías del maíz y el agua en el antes del proceso de secado*

Entalpía del agua		4.18 KJ/Kg °C			Entalpía maíz		0.102 KJ/kg °C	
Lote	Peso maíz (kg)	Peso de agua	Peso total (kg)	Fracción maíz	Fracción agua (j/kg)	CP maíz (kj/kg °C)	CP agua (kj/kg °C)	CP maíz y agua (j/kg)
1	2.16	0.91	3.07	0.70	0.29	0.07	1.24	1.31
2	2.09	0.88	2.97	0.70	0.29	0.07	1.24	1.31
3	2.19	1.10	3.29	0.67	0.33	0.07	1.40	1.47
4	2.28	0.97	3.25	0.70	0.29	0.07	1.24	1.32
Promedio	2.18	0.96	3.14	0.69	0.31	0.07	1.28	1.35

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 46. *Entalpías del maíz y el agua en el después del proceso de secado*

Entalpía del agua		4.18 KJ/Kg °C			Entalpía maíz		0.102 KJ/kg °C	
Lote	Peso maíz (kg)	Peso de agua	Peso total (kg)	Fracción maíz	Fracción agua (j/kg)	CP maíz (kj/kg °C)	CP agua (kj/kg °C)	CP maíz y agua (j/kg)
1	1.34	0.20	1.54	0.87	0.13	0.09	0.52	0.61
2	2	0.33	2.33	0.86	0.14	0.09	0.59	0.68
3	2.19	0.31	2.5	0.88	0.12	0.09	0.52	0.61
4	2.25	0.40	2.65	0.5	0.15	0.09	0.63	0.72
Promedio	1.95	0.31	2.26	0.86	0.14	0.09	0.57	0.65

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 47. Entalpías del aire húmedo y aire seco

Aire húmedo (salida)					Aire seco (entradas)		
Lote	Agua en aire(kg)	Masa de aire húmedo (kg)	Entalpía aire húmedo (kj/kg)	Calor aire húmedo (kj)	Masa de aire seco (kg)	Entalpía aire seco (kj/kg)	Calor(kj)
1	0.71	75.02	68.34	5128.30	74.31	60.43	4490.51
2	0.55	74.86	68.34	5240.30	74.31	60.43	4490.51
3	0.79	75.10	68.34	5242.70	74.31	60.43	4490.51
4	0.57	74.88	68.34	5252.00	74.31	60.43	4490.51
Promedio	0.65	74.96	68.34	5215.80	74.31	60.43	4490.51

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 48. Balance de energía del secador

Entrada @Tf 35°C To 15°C			Salida @Tf 68°C To 35°C		Balance de energía		
Lote	Calor de entrada del aire seco (kJ)	Calor de entrada del maíz (kJ)	Calor aire húmedo (kj)	Calor de maíz en la salida (kj)	Calor total de entrada (kj)	Calor total de salida (kj)	Calor cedido para la evaporación(kj)
1	4490.51	41.28	5128.30	44.81	4531.79	5171.77	639.97
2	4490.51	38.91	5240.30	60.32	4529.42	5176.33	646.90
3	4490.51	48.21	5242.70	53.54	4538.72	5185.98	647.25
4	4490.51	42.87	5252.00	65.35	4533.38	5182.72	649.34
Promedio	4490.51	42.82	5215.80	56.01	4533.33	5179.20	645.87

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

5. Combustible en proceso de secado

Cuadro 49. Cuantificación de combustible

Entalpía de propano	50330 kJ/kg	
Lote	Calor de entrada del aire seco (kJ)	Combustible (kg/h)
1	639.97	0.012
2	646.90	0.012
3	647.25	0.012
4	649.34	0.012
Promedio	645.87	0.012

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

6. Evidencias fotográficas

Figura 35. Evidencia fotográfica de las mediciones de humedad (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



Figura 36. Evidencia fotográfica del proceso de secado (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



Figura 37. Evidencia fotográfica 2 del proceso de secado (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



G. Proceso de molienda

1. Balances de masas

Cuadro 50. *Proceso de molienda del maíz*

Balance de masa del proceso de molienda			
Lote	Peso inicial (kg)	Peso final del maíz(kg)	Pérdidas en la molienda (kg)
1	1.55	1.41	0.14
2	2.34	1.83	0.51
3	2.51	1.5	1.01
4	2.66	2.55	0.11
Promedio	2.25	1.82	0.44

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 51. *Proceso de molienda de la Salvia hispánica*

Balance de masa del proceso de molienda			
Lote	Peso inicial de la <i>Salvia hispánica</i> (kg)	Peso final de la <i>Salvia hispánica</i> (kg)	Pérdidas en la molienda (kg)
1	2.76	2.26	0.5
2	2.78	2.26	0.52
Promedio	2.77	2.26	0.51

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Evidencias fotográficas

Figura 38. *Evidencia fotográfica de la molienda*

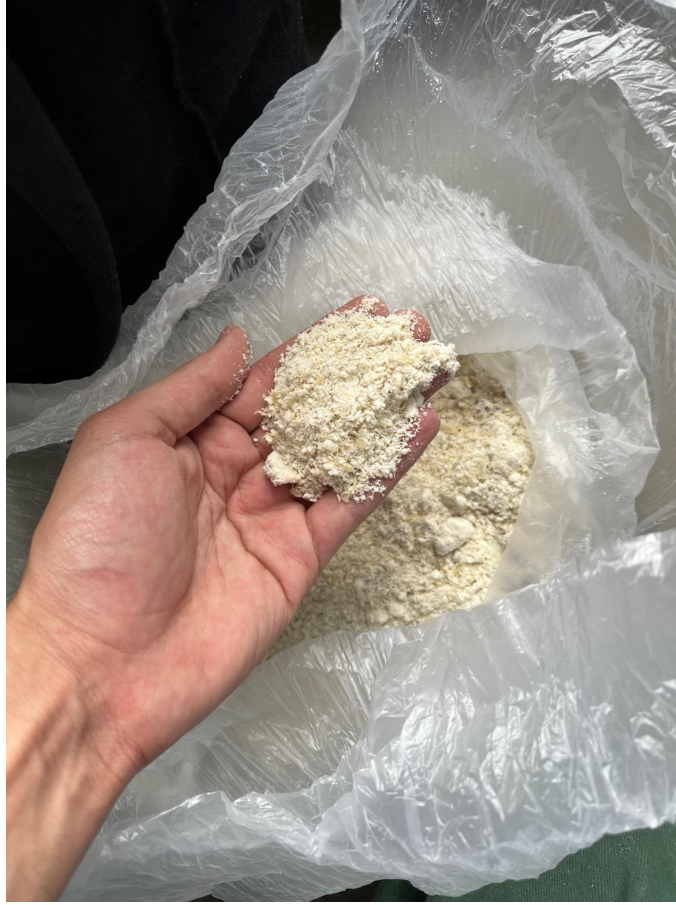


Figura 39. Evidencia fotográfica 2 de la molienda (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



G. Proceso de tamizado

1. Pesajes del proceso de tamizado

Cuadro 52. *Proceso del tamizado de la harina de maíz nixtamalizado*

Proceso del tamizaje de la harina de maíz nixtamalizada									
Lote 4				Lote 2		Lote 1		Lote 3	
Lote	Lote 4.1	Lote 4.2	Lote 4.3	Lote 2.1	Lote 2.2	Lote 1.1	Lote 1.2	Lote 3.1	Lote 3.2
Peso del lote (kg)	2.55			1.83		1.41		1.5	
Peso inicial (kg)	0.61	1.1	0.56	1.16	0,66	0,73	0,45	0.6	0.65
Mesh 20 (kg)	0.22	0.49	0.32	0.22	0.07	0.15	0,1	0.23	0.14
Mesh 30 (kg)	0.08	0.13	0.08	0.18	0.06	0.11	0,07	0.1	0.12
Mesh 45 (kg)	0.07	0.16	0	0.46	0.12	0.28	0,11	0.1	0.14
Mesh 60 (kg)	0.03	0.07	0.07	0.13	0.1	0.18	0,13	0.05	0.07
Mesh 80 (kg)	0.04	0.12	0.06	0.05	0.05	0	0,04	0.05	0.03
Mesh 100 (kg)	0.03	0.05	0.01	0	0	0	0	0.03	0.01
Mesh 100> (kg)	0.03	0.03	0	0	0	0	0	0.04	0
Total (kg)	0.5	1.05	0.54	1.04	0.4	0.72	0,45	0.6	0.51
Pérdidas (kg)	0.11	0.05	0.02	0.12	0.26	0.01	0	0	0.14
Recirculación (kg)	0.3	0.62	0.4	0.4	0.13	0.26	0,17	0.33	0.26
Harina producida(kg)	0.2	0.43	0.14	0.64	0.27	0.46	0.28	0.27	0.25

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 53. Proceso del tamizado de la harina de maíz nixtamalizado

Lote 4			Lote 2		Lote 1		Lote 3		Promedio	
Lote	Lote 4.1	Lote 4.2	Lote 4.3	Lote 2.1	Lote 2.2	Lote 1.1	Lote 1.2	Lote 3.1		Lote 3.2
Peso inicial (kg)	0.61	1.1	0.56	1.16	0.66	0.73	0.45	0.6	0.65	0.72
20	36.07 %	44.55 %	57.14 %	18.97%	10.61 %	20.55 %	22.22 %	38.33 %	21.54 %	29.75%
30	13.11 %	11.82 %	14.29 %	15.52%	9.09%	15.07 %	15.56 %	16.67 %	18.46 %	14.26%
45	11.48 %	14.55 %	0.00%	39.66%	18.18 %	38.36 %	24.44 %	16.67 %	21.54 %	22.09%
60	4.92 %	6.36%	12.50 %	11.21%	15.15 %	24.66 %	28.89 %	8.33%	10.77 %	12.73%
80	6.56 %	10.91 %	10.71 %	4.31%	7.58%	0.00%	8.89%	8.33%	4.62%	6.75%
100	4.92 %	4.55%	1.79%	0.00%	0,00%	0.00%	0,00%	5.00%	1.54%	1.99%
100>	4.92 %	2.73%	0.00%	0.00%	0,00%	0.00%	0,00%	6.67%	0.00%	1.53%
Total (kg)	81.97 %	95.45 %	96.43 %	89.66%	60.61 %	98.63 %	100%	100%	78.46 %	89.11%
Pérdidas (kg)	18.03 %	4.55%	3.57%	10.34%	39.39 %	1.37%	0.00%	0.00%	21.54 %	10.89%
Recirculación(kg)	49.18 %	56.36 %	71.43 %	34.48%	19.70 %	35.62 %	37.78%	55.00%	40.00%	44.39%
Harina producida (kg)	32.79 %	39.09 %	25.00 %	55.17%	40.91 %	63.01 %	62.22%	45.00%	38.46%	44.63%
Tamizado promedio										89.02%
Pérdidas promedio										10.98%

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Balances de masa del proceso de tamizado

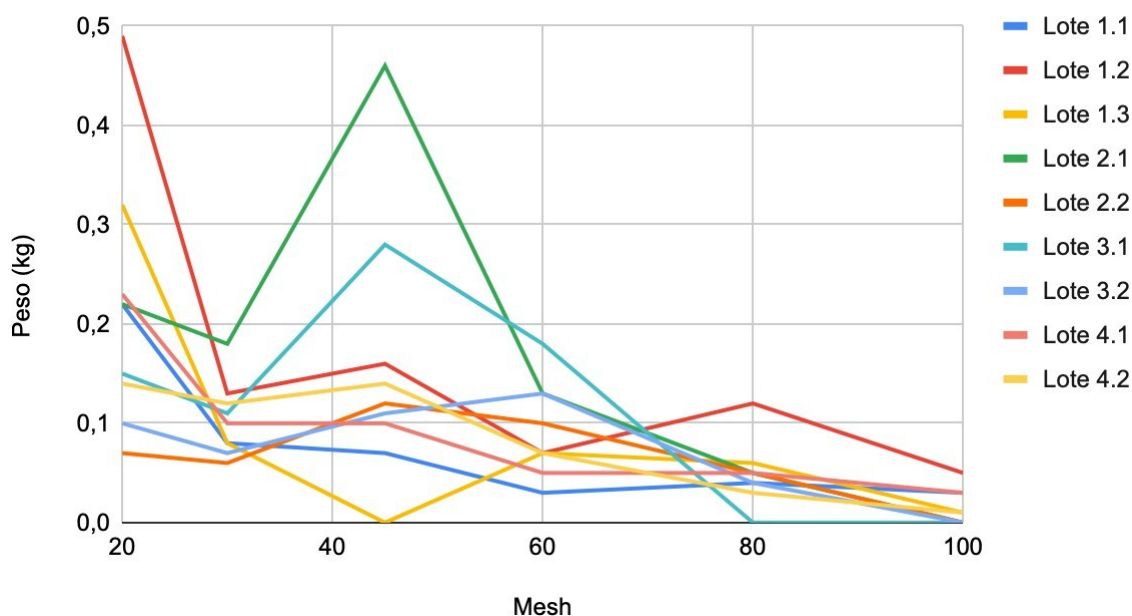
Cuadro 54. Balance de masa del proceso de tamizado

Balance de masa general del tamizado			
Lote	Peso ingresado (kg)	Harina producida mesh 45 a 100 (kg)	Pérdidas (kg)
1	1.41	0.74	0.67
2	1.83	0.91	0.92
3	1.5	0.52	0.98
4	2.55	0.77	1.78
Totales	7.29	2.94	4.35
Promedio	1.83	0.74	1.09

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

3. Curvas granulométricas

Figura 40. Curva granulométrica por pesos de los lotes de harinas



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 41. Curva granulométrica por porcentajes de los lotes de harinas

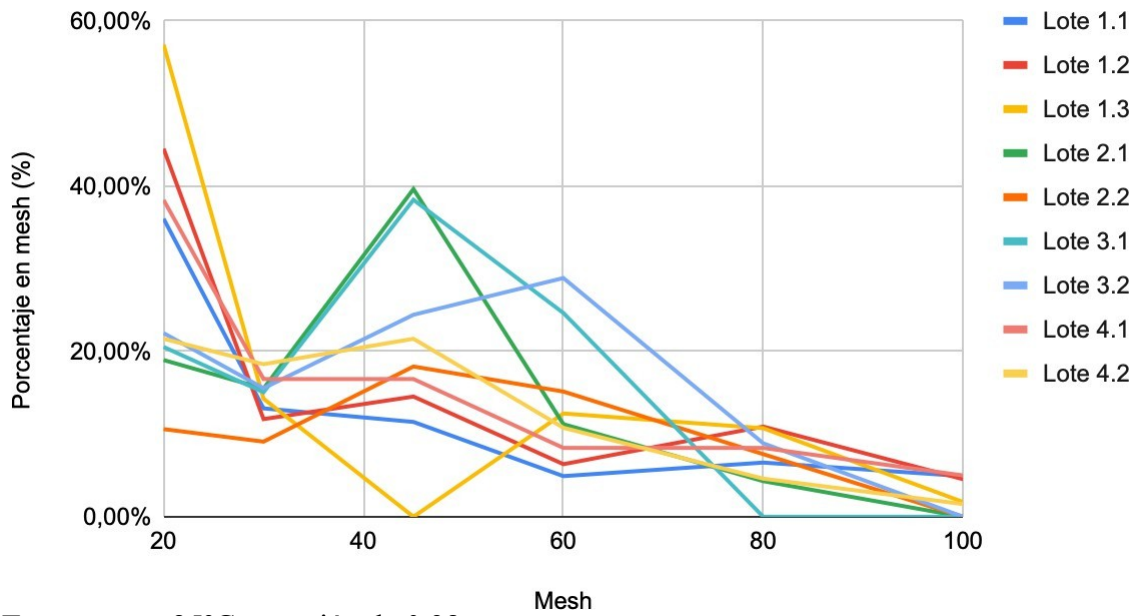
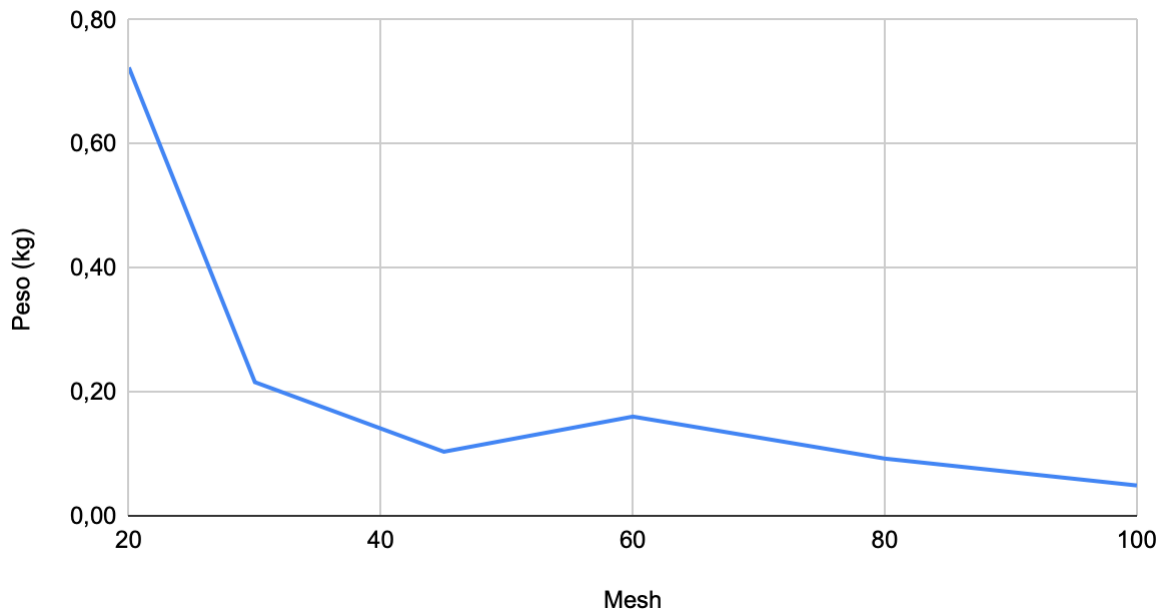
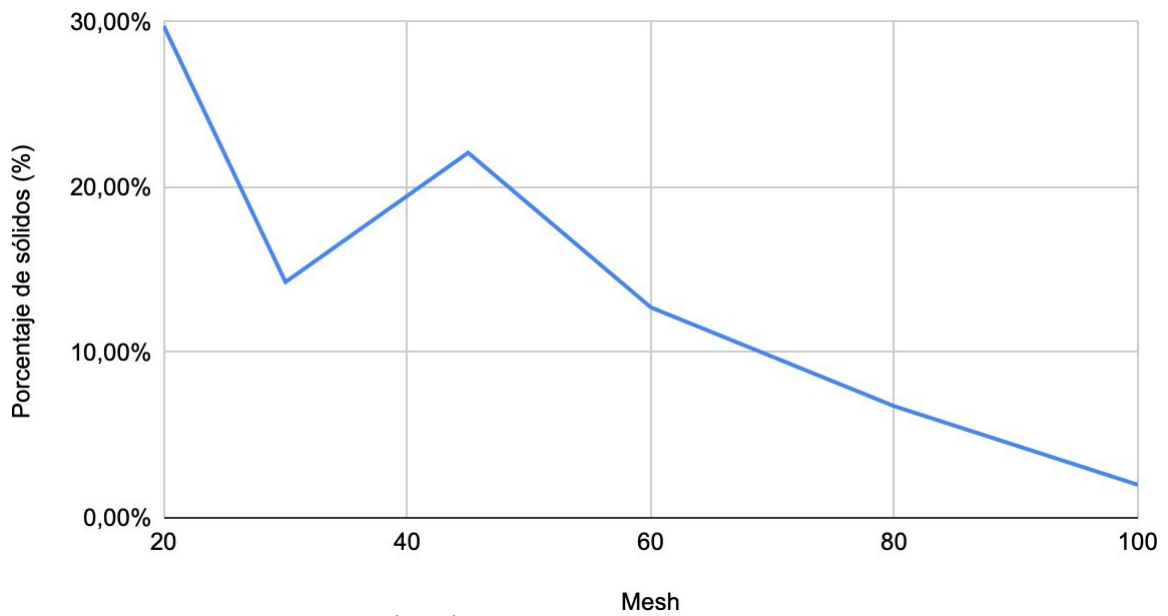


Figura 42. Curva granulométrica promedio por pesos del tamizado de la molienda de maíz nixtamalizado



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 43. Curva granulométrica promedio por porcentaje del tamizado de la molienda de maíz nixtamalizado



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

H. Proceso de tamizado de la *Salvia hispánica*

1. Balances de masa

Cuadro 55. Balance de masa del proceso de tamizado de la *Salvia hispánica* (lote 1)

Lote	Lote 1 <i>Salvia hispánica</i>		
	Lote 1.1	Lote 1.2	Lote 1.3
Peso del lote (kg)	2.26		
Peso inicial (kg)	0.55	1.1	0.61
Mesh 20 (kg)	0.15	0.22	0.16
Mesh 30 (kg)	0.13	0.16	0.15
Mesh 45 (kg)	0.07	0.15	0.17
Mesh 60 (kg)	0.13	0.05	0.07
Mesh 80 (kg)	0.03	0.03	0.05
Mesh 100 (kg)	0.01	0.01	0.01
Mesh 100> (kg)	0.03	0.03	0
Total (kg)	0.55	0.65	0.61
Pérdidas (kg)	0	0.45	0.5
Recirculación (kg)	0.28	0.38	0.31
Harina producida (kg)	0.27	0.27	0.3

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 56. Balance de masa del proceso de tamizado de la Salvia hispánica (lote 2)

Lote	Lote 2 Salvia hispánica		
	Lote 2.1	Lote 2.2	Lote 2.3
Peso del lote (kg)	2.26		
Peso inicial (kg)	0,55	1.1	0.61
Mesh 20 (kg)	0.12	0.17	0.15
Mesh 30 (kg)	0.13	0.13	0.16
Mesh 45 (kg)	0.08	0.17	0.12
Mesh 60 (kg)	0.14	0.07	0.07
Mesh 80 (kg)	0.02	0.02	0.07
Mesh 100 (kg)	0.01	0.03	0.03
Mesh 100> (kg)	0.03	0,03	0.01
Total (kg)	0.53	0.62	0.61
Pérdidas (kg)	0.02	0.48	0
Reciruclación (kg)	0.25	0.3	0.31
Harina producida (kg)	0.28	0.32	0.3

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

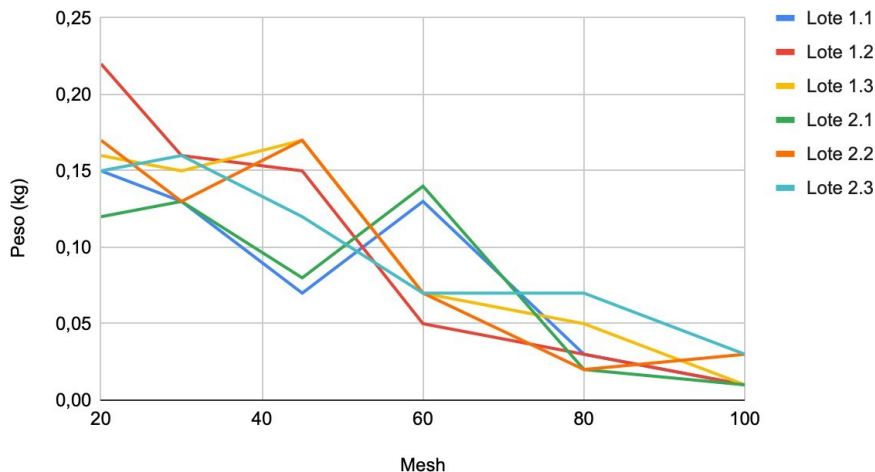
Cuadro 57. Proceso del tamizado de la harina de Salvia hispánica

Lote 1				Lote 2			Promedio
Lote	Lote 1.1	Lote 1,2	Lote 1,3	Lote 2.1	Lote 2.2	Lote 2.3	
Peso	0.55	1.1	0.61	0.55	1.1	0.61	0.75
20	27.27 %	20.00%	26.23%	21.82%	15.45%	24.59%	22.56%
30	23.64 %	14.55%	24.59%	23.64%	11.82%	26.23%	20.74%
45	12.73 %	13.64%	27.87%	14.55%	15.45%	19.67%	17.32%
60	23.64 %	4.55%	11.48%	25.45%	6.36%	11.48%	13.83%
80	5.45%	2.73%	8.20%	3.64%	1.82%	11.48%	5.55%
100	1.82%	0.91%	1.64%	1.82%	2.73%	4.92%	2.31%
100>	5.45%	2.73%	0.00%	5.45%	2.73%	1.64%	3.00%
Total	100,00 %	59.09%	100.00 %	96.36%	56.36%	100.00%	85.30%
Pérdidas	0,00%	40.91%	0.00%	3.64%	43.64%	0.00%	14.70%
Recirculación	50.91 %	34.55%	50.82%	45.45%	27.27%	50.82%	43.30%
Harina producida	49.09 %	24.55%	49.18%	50.91%	29.09%	49.18%	42.00%

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Curvas granulométricas

Figura 44. Curva granulométrica del tamizado de chía



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 45. Curva granulométrica por porcentajes de los lotes de harinas de Salvia hispánica

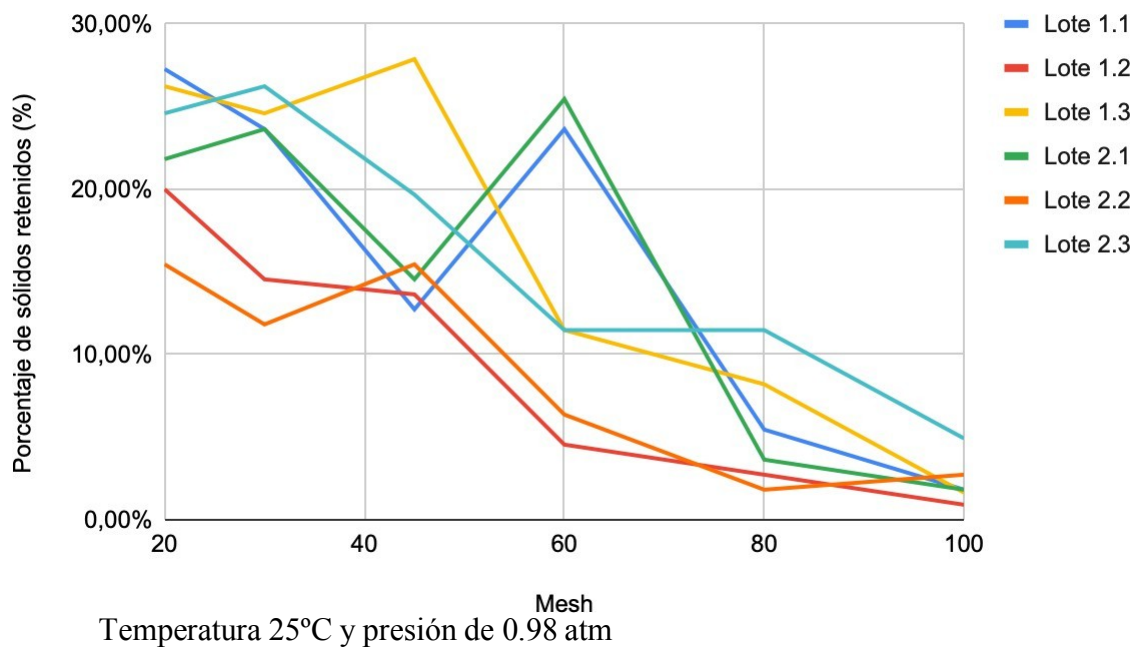
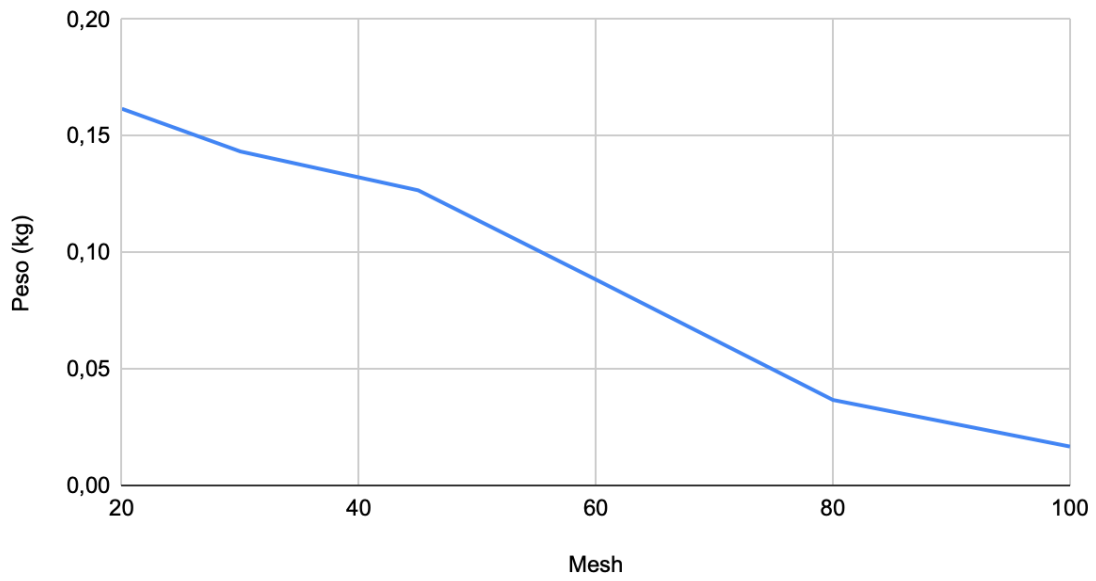
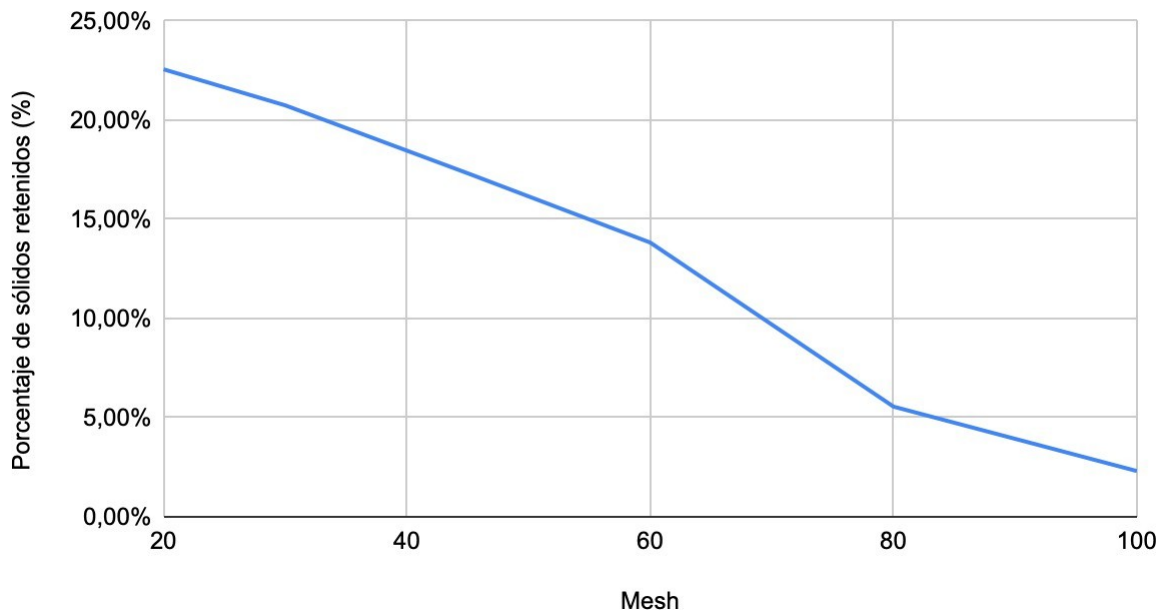


Figura 46. Curva granulométrica del tamizado de chía promedio



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Figura 47. Curva granulométrica del tamizado



Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

3. Balance de masa general del tamizado de la *Salvia hispánica*

Cuadro 58. Balance de masa del proceso de tamizado de la *Salvia hispánica*

Balance de masa general del tamizado			
Lote	Peso ingresado (kg)	Harina producida mesh45 a 100 (kg)	Pérdidas (kg)
1	2.26	0.86	1.4
2	2.26	0.90	1.36

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

4. Evidencias fotográficas del proceso de tamizado

Figura 48. Evidencia fotográfica del tamizado (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



Figura 49. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 20 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



Figura 50. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 30 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



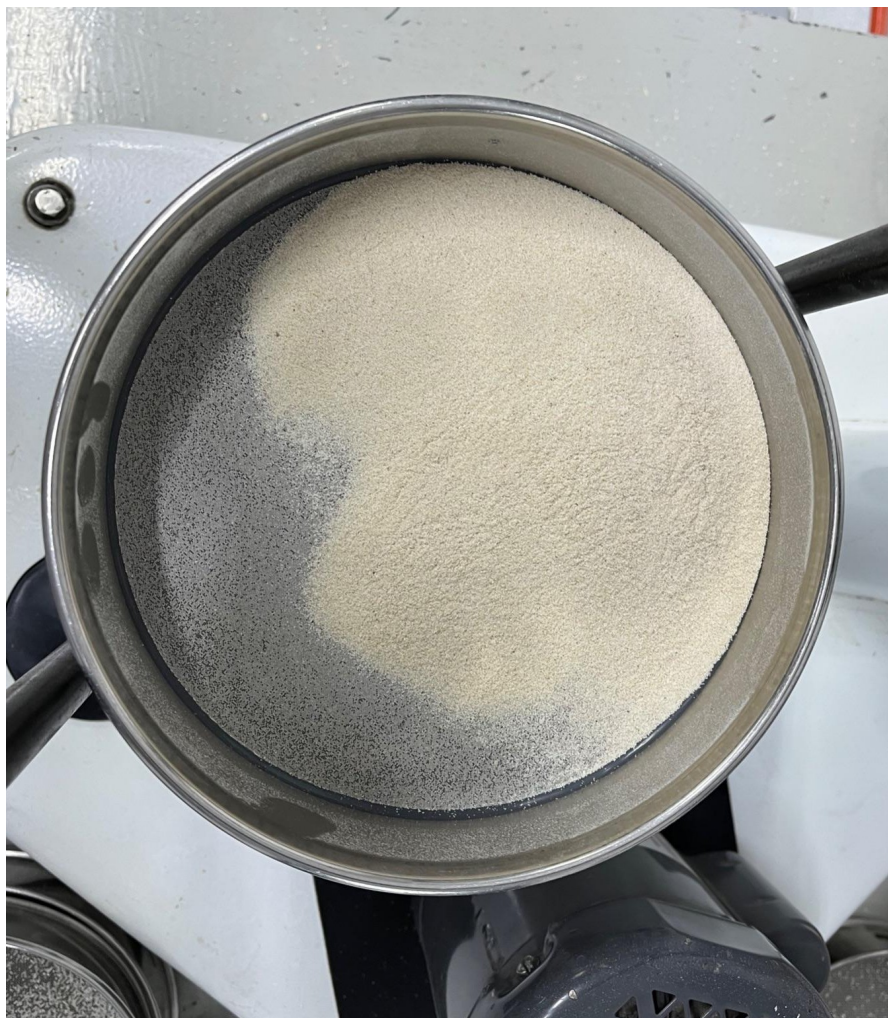
Figura 51. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 45 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



Figura 52. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No .60 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



Figura 53. Evidencia fotográfica del tamizado mesh No. 80 (laboratorio de operaciones unitarias, Universidad del Valle de Guatemala)



I. Proceso de mezclado

1. Balance de masa

Cuadro 59. *Balance de masa del proceso de mezclado de las harinas*

Balance de masa del mezclado				
Lote	Gramos de maíz (g)	Gramos de chía (g)	Gramos de vitamina C (g)	Peso total (g)
1	599.78	399.78	0.45	1000.01
2	599.8	399.75	0.45	1000
3	599.8	399.8	0.45	1000.05
4	600	400	0.45	1000.45
Totales	2399.38	1599.33	1.8	4000.51
Promedio	599.845	399.8325	0.45	1000.1275

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

Cuadro 60. *Lotes producidos*

Componente	Materia prima inicial (g)	Materia prima usada (g)	Materia prima sobrante(g)
Maíz	2940	2399.38	540.62
Chía	1760	1599.33	160.27
Vitamina C	20	1.8	18.2

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Evidencia fotográfica

Figura 54. *Evidencia fotográfica del mezclado*



J. Proceso de empaclado

1. Pesaje de la harina

Cuadro 61. *Proceso de empaclado*

Lote	Harina fortificada (g)	Empaque (g)	Peso total
1	1000.01	5	1005.01
2	1000	5	1005
3	1000.05	5	1005.05
4	1000.45	5	1005.45
Totales	4000.51	20	4020.51

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Evidencia fotográfica de la harina

Figura 55. *Empaque y marca del producto terminado*



K. Uso de la harina para hacer tortillas

1. Cuantificación de peso y producción de tortillas

Cuadro 62. *Usos de la harina para hacer tortillas*

Uso de las tortillas			
Lote	Harina fortificada(g)	Agua utilizada (mL)	Tortillas producidas
1	1000.01	562.5	49
2	1000	555	49
3	1000.05	563.3	50
4	1000.45	575.1	51
Totales	4000.51	2255.9	199
Promedio	1000.12	563.98	49

Temperatura 25°C y presión de 0.98 atm

2. Evidencia fotográfica de la harina

Figura 56. *Evidencia fotográfica 1 del uso de la harina*



Figura 57. Evidencia fotográfica 2 del uso de la harina



Figura 58. Evidencia fotográfica 3 del uso de la harina



L. Comparativa de porcentajes de valor diario y nutrientes

1. Cambio en nutrientes de las harinas

Cuadro 63. Comparativa del cambio en nutrientes al fortificar la harina al 40% con *Salvia hispánica*.

Nutriente	Diferencias nutrientes (Harina de maíz vs fortificada)	Diferencias nutrientes (Harina de maíz nixtamalizada vs fortificada)	Porcentaje de cambio vs harina de maíz nixtamalizado	Porcentaje de cambio vs harina de maíz
Agua (%)	-3.532	-1.652	-18%	-32%
Energía (Kcal)	54	50	14%	15%
Proteína (g)	4.922	2.512	27%	71%
Grasa total (g)	10.708	10.788	285%	277%
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	0.428	0.448	45%	42%
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	8.604	8.644	503%	489%
Ácidos grasos saturados (g)	1.05	1.06	200%	194%
Colesterol (mg)	0	0	0%	0%
Carbohidratos (g)	-13.548	-12.968	-17%	-18%
Fibra dietética total (g)	7.44	11.24	117%	56%
Ceniza (g)	1.44	1.32	84%	99%
Calcio (mg)	330	196	139%	4714%
Fósforo (mg)	241	290	130%	89%
Hierro (mg)	1.946	-2.884	-40%	82%
Tiamina (mg)	0.608	-0.572	-40%	243%
Riboflamina (mg)	0.37	-0.3	-40%	463%

Nutriente	Diferencias nutrientes(Harina de maíz vs fortificada)	Diferencias nutrientes (Harina de maíz nixtamalizada vs fortificada)	Porcentaje de cambio vs harina de maíz nixtamalizado	Porcentaje de cambio vs harina de maíz
Niacina (mg)	4.004	-3.936	-40%	211%
Vitamina c (mg)	45	45	450%	450%
Vitamina A (mcg)	397.2	-264.8	-40%	397%
Potasio (mg)	-72.2	-55.2	-19%	-23%
Sodio (mg)	5.6	5.6	112%	112%
Zinc (mg)	0.734	0.684	38%	42%
Magnesio (mg)	-27	-44	-40%	-29%
Vitamina B6 (mg)	-0.148	-0.148	-40%	-40%
Vitamina B12 (mg)	0	0	0%	0%
Ácido fólico (mcg)	0	0	0%	0%
Folato (mcg)	-25	0	0%	-100%

2. Cambio en nutrientes de las harinas

Cuadro 64. Porcentajes de valores diarios aportados por las harinas fortificadas y las harinas nixtamalizadas sin fortificación.

Porcentajes de valores diarios por 100 gramos de harina (comparativa de harina nixtamalizada y harinanixtamalizada fortificada)					
Nutrientes	Valor diario (FDA)	Nutrientes deharina nixtamalizada	Nutrientes deharina fortificada	Harina nixtamalizada (% valor diario)	Harina nixtamalizada fortificada (% valor diario)
Energía (Kcal)	2000	365	415	18%	21%
Proteína (g)	50	9.34	11.852	19%	24%
Grasa total (g)	78	3.78	14.568	5%	19%
Ácidos grasos saturados (g)	20	0.53	1.59	3%	8%
Colesterol (mg)	300	0	0	0%	0%
Carbohidratos (g)	275	76.27	63.302	28%	23%
Fibra dietética total (g)	28	9.6	20.84	34%	74%
Calcio (mg)	1300	141	337	11%	26%
Fósforo (mg)	1250	223	513	17%	41%
Hierro (mg)	18	7.21	4.326	40%	24%
Tiamina (mg)	1.2	1.43	0.858	119%	72%
Riboflamina (mg)	1.3	0.75	0.45	58%	35%
Niacina (mg)	16	9.84	5.904	61.5%	36.9%
Vitamina c (mg)	90	0	45	0%	50%
Vitamina A (mcg)	9000	662	397.2	7%	4%
Potasio (mg)	4700	298	242.8	6%	5%
Sodio (mg)	2300	5	10.6	0%	0%
Zinc (mg)	11	1.78	2.464	16%	22%
Magnesio (mg)	420	110	66	26%	16%

Nutrientes	Valor diario (FDA)	Nutrientes deharina nixtamalizada	Nutrientes deharina fortificada	Harina nixtamalizada (% valor diario)	Harina nixtamalizada fortificada (% valor diario)
Vitamina B6 (mg)	1.7	0.37	0.222	22%	13%
Vitamina B12 (mg)	2.4	0	0	0%	0%
Ácido fólico (mcg)	400	0	0	0%	0%
Folato (mcg)	400	0	0	0%	0%

Cuadro 65. Porcentajes de valores diarios aportados por las harinas fortificadas y las harinas de maíz

Porcentajes de valores diarios por 100 gramos de harina (comparativa de harina de maíz y harina nixtamalizada fortificada)					
Nutrientes	Valor diario (FDA)	Nutrientes de harina de maíz	Nutrientes de harina fortificada	Harina de maíz	Harina Nixtamalizada fortificada
Energía (Kcal)	2000	361	415	18%	21%
Proteína (g)	50	6.93	11.852	14%	24%
Grasa total (g)	78	3.86	14.568	5%	19%
Ácidos grasos saturados (g)	20	0.54	1.59	3%	8%
Colesterol (mg)	300	0	0	0%	0%
Carbohidratos (g)	275	76.85	63.302	28%	23%
Fibra dietética total (g)	28	13.4	20.84	48%	74%
Calcio (mg)	1300	7	337	1%	26%
Fósforo (mg)	1250	272	513	22%	41%
Hierro (mg)	18	2.38	4.326	13%	24%
Tiamina (mg)	1.2	0.25	0.858	21%	72%
Riboflamina (mg)	1.3	0.08	0.45	6%	35%
Niacina (mg)	16	1.9	5.904	11.9%	36.9%
Vitamina c (mg)	90	0	45	0%	50%
Vitamina A (mcg)	9000	0	397.2	0%	4%
Potasio (mg)	4700	315	242.8	7%	5%
Sodio (mg)	2300	5	10.6	0%	0%
Zinc (mg)	11	1.73	2.464	16%	22%
Magnesio (mg)	420	93	66	22%	16%
Vitamina B6 (mg)	1.7	0.37	0.222	22%	13%

Nutrientes	Valor diario (FDA)	Nutrientes de harina de maíz	Nutrientes de harina fortificada	Harina de maíz	Harina Nixtamalizada fortificada
Vitamina B12 (mg)	2.4	0	0	0%	0%
Ácido fólico (mcg)	400	0	0	0%	0%
Folato (mcg)	400	25	0	6%	0%

L. Fichas técnicas

Cuadro 66. *Ficha técnica de la lavadora de flotación*

Ficha técnica		
Nombre de Maquinaria	lavadora de flotación	
Material del equipo	Acero inoxidable	
Función	Se utiliza par la limpieza de los granos de maíz, se debe de ingresar 1 kg de agua por 1 kg de maíz	
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas	
	<ul style="list-style-type: none"> • Compacta • Sin riesgo de bloqueos por granos de maíz • Flujo uniforme de agua • Temperatura de trabajo 25°C • Presión 1 atm 	
	Tipos de materia prima	
	<ul style="list-style-type: none"> • Granos de maíz • Agua 	

Cuadro 67. Ficha técnica del tanque de agitación

Ficha técnica		
Nombre de Maquinaria	Tanque de agitación	
Material del equipo	Acero inoxidable	
Función	Se utiliza para que se tenga una solución de nixtamalización homogénea a una concentración de 4 g/L	
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas	
<p>Tanque de agitación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de agitación 20 a 750 RPM • Temperatura de trabajo 25°C • Presión 1 atm 	
	Tipos de materia prima	
	<ul style="list-style-type: none"> • Agua • CaO (cal grado alimenticio) 	

Cuadro 68. Ficha técnica del tanque de agitación

Ficha técnica		
Nombre de Maquinaria	Tanque de agitación	
Material del equipo	Acero inoxidable	
Función	Se utiliza un tanque de agitación con una chaqueta para que se caliente el agua y se de el proceso de nixtamalización dentro del maíz.	
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas	
<p>Tanque de cocción</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de agitación 20 a 750 RPM • Temperatura de trabajo 40°C a 69°C • Presión 1 atm 	
	Tipos de materia prima	
	<ul style="list-style-type: none"> • Agua • CaO (cal grado alimenticio) • Maíz 	

Cuadro 69. Ficha técnica del tanque de reposado y filtrado

Ficha técnica	
Nombre de Maquinaria	Tanque de reposado y filtrado
Material del equipo	Acero inoxidable
Función	Se utiliza para almacenar los granos de maíz con la solución alcalina por un tiempo de 16 horas luego se usa el mismo silo con un mesh para retener el maíz y dejar pasar la solución alcalina para aislar el maíz y que se pueda usar en los siguientes procesos
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas
<p>Diagrama de bloques de un filtro que muestra el flujo de materiales. Entrada: 7.93 kg/16 horas (0.29 maíz, 0.71 agua solución alcalina). Salida superior: 3.15 kg/15 min (0.7 maíz, 0.3 agua solución alcalina). Salida media: 0.16 kg/15 min (0.7 maíz, 0.3 agua solución alcalina). Salida inferior: 4.77 kg/15 min.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fondo cónico • Temperatura de trabajo 25°C • Presión 1 atm
	Tipos de materia prima
	<ul style="list-style-type: none"> • Agua • CaO (cal grado alimenticio) • Maíz

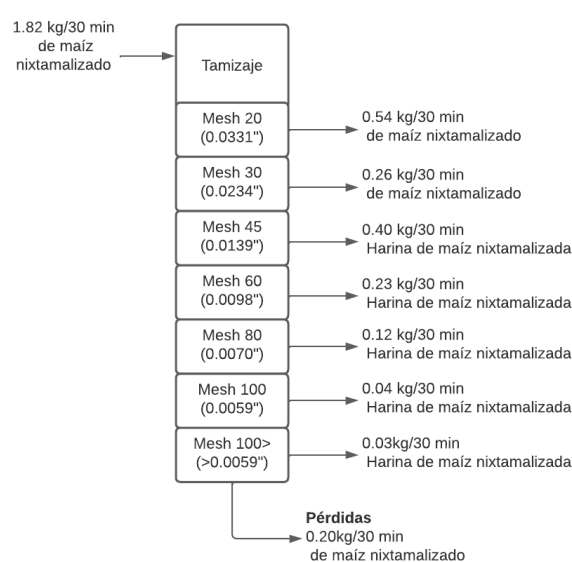
Cuadro 70. Ficha técnica del secador rotatorio

Ficha técnica	
Nombre de Maquinaria	Secador rotatorio
Material del equipo	Acero inoxidable
Función	Se utiliza para disminuir el tamaño de partícula de los granos de maíz y de <i>Salvia hispánica</i> para que se pueda cumplir con los estándares de las harinas.
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas
<p>Diagrama de bloques del secador rotatorio:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entrada superior izquierda: 0.012 kg/50min gas combustión Entrada superior derecha: 0.012 kg/50 min propano Entrada izquierda: 3.15 kg/50 min (0.70 maíz, 0.30 solución alcalina) Entrada inferior izquierda: 74.88 kg/50 min (0.99 aire seco, 0.01 humedad) Salida superior derecha: 2.25 kg/50 min (0.86 maíz, 0.14 solución alcalina) Salida inferior derecha: 74.31 kg/50min (1 aire seco, 0 humedad) Salida inferior: 0.24 kg/50min (0.70 maíz, 0.30 solución alcalina) 	<ul style="list-style-type: none"> • Operación continua • Humedades iniciales del producto 30% • Humedades finales del producto 10% • Temperatura de trabajo 25°C a 100°C
	Tipos de materia prima
	<ul style="list-style-type: none"> • Maíz nixtamalizado • Gas propano • Aire

Cuadro 71. Ficha técnica del molino de martillos

Ficha técnica	
Nombre de Maquinaria	Molino de martillos
Material del equipo	Acero inoxidable
Función	Se utiliza para disminuir el tamaño de partícula de los granos de Maíz y de <i>Salvia hispánica</i>
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas
<p>Diagrama de bloques del molino de martillos. El diagrama muestra un flujo de entrada de 2.77 kg/20 min de <i>Salvia hispánica</i> que entra en un molino. El flujo de salida es de 2.26 kg/20 min de <i>Salvia hispánica</i>. Se indican también las acumulaciones y pérdidas de 0.44 kg/20 min de <i>Salvia hispánica</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso continuo • Mesh para partículas finas entre 0.0139" a 0.0059" • Temperatura de trabajo 25°C • Presión 1 atm
	Tipos de materia prima
	<ul style="list-style-type: none"> • Maíz nixtamalizado • <i>Salvia hispánica</i>

Cuadro 72. Ficha técnica de la tamizadora

Ficha técnica	
Nombre de Maquinaria	Tamizadora
Material del equipo	Acero inoxidable
Función	Se utiliza para separar los granos por diferentes tamaños de partículas para lasharinas se busca que se tengan partículas en los tamaños de
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas
	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso continuo • Mesh para partículas finas entre 0.0331” a 0.0059” • Vibratorio • Temperatura de trabajo 25°C • Presión 1 atm
	Tipos de materia prima
	<ul style="list-style-type: none"> • Maíz nixtamalizado • <i>Salvia hispánica</i>

Cuadro 73. Ficha técnica del mezclador cilíndrico

Ficha técnica	
Nombre de Maquinaria	Mezclador cilíndrico
Material del equipo	Acero inoxidable
Función	Se utiliz
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas
<p>Diagrama de bloques del mezclador cilíndrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> Insumos: 599.85 g Harina Maíz Nixtamalizado y 399.83 g Harina Salvia Hispánica. Aditivo: 0.45 g Vitamina C. Producto final: 1000.13 g Harina fortificada (0.4 Salvia Hispánica y 0.6 maíz nixtamalizado). 	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso continuo • Mezclador cilíndrico • 65 RPM • Temperatura de trabajo 25°C • Presión 1 atm
	Tipos de materia prima
	<ul style="list-style-type: none"> • Maíz nixtamalizado • <i>Salvia hispánica</i>

Cuadro 74. Ficha técnica del mezclador cilíndrico

Ficha técnica	
Nombre de Maquinaria	Envasadora
Material del equipo	Acero inoxidable
Función	Se utiliza para empacar las harinas de polvos en bolsas de papel para que se puedan distribuir.
Diagrama de bloques	Especificaciones técnicas
	<ul style="list-style-type: none"> • Envasadora vertical de polvos • Bolsas de papel • Selladora • Balanzas de peso • Temperatura de trabajo 25°C • Presión 1 atm
	Tipos de materia prima
	<ul style="list-style-type: none"> • Harina de maíz nixtamalizada fortificada

M. Estudio de mercado

1. Demanda

Para modelar el proceso industrial, se busca plantear una demanda para la población urbano-rural de Guatemala. Para esto se utilizaron datos macroeconómicos en 2022, un 90% del mercado nacional consume tortillas (esto representa un total de 15,398,771 personas). Se modeló la demanda para el territorio rural-urbano el cual representa un 3.5% de la población total de Guatemala de 538,957 (RIMISP, 2022). Para determinar el tamaño de la operación se utilizó un consumo promedio de 3.77 kg a la semana por persona (200.02 kg al año). La planta y el desarrollo de las operaciones abastece un total de 107,800,000 kg al año y al mes la producción deberá ser de 8,983,333.33 kg. Esto se desarrollará a través de diagramas de planta y de flujo basados en el estudio a nivel laboratorio (DatosMacro, 2022).

2. Tamaño de muestra

Se realizó un estudio de mercado para entender los patrones de consumo de harinas de maíz de la población guatemalteca para entender el alcance y el deseo de las personas de tener una dieta con mayor contenido de micro y macronutrientes. Se utilizó la fórmula del tamaño de muestra con una población finita.

3. Cálculo del tamaño de muestra:

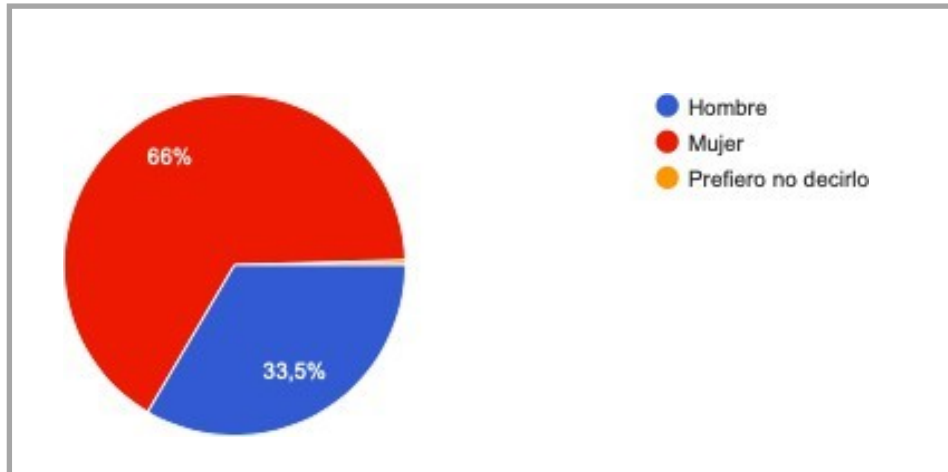
$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

- n: tamaño de la muestra.
- N: número de la población, en este caso, 538,957 personas en el área rural-urbana de Guatemala que consumen tortilla
- σ : desviación estándar de la población; en este caso 0.5.
- Z: grados de confianza; el estudio cuenta con un 95%, por lo que se usó el valor de 1.96.
- e: límite de error aceptable para 95% de confianza, se usó el valor de 0.05.

En este caso, se determinó que el número de muestra para el estudio de mercado debería ser 384 personas para un 95% de confianza.

4. Resultados del estudio de mercado:

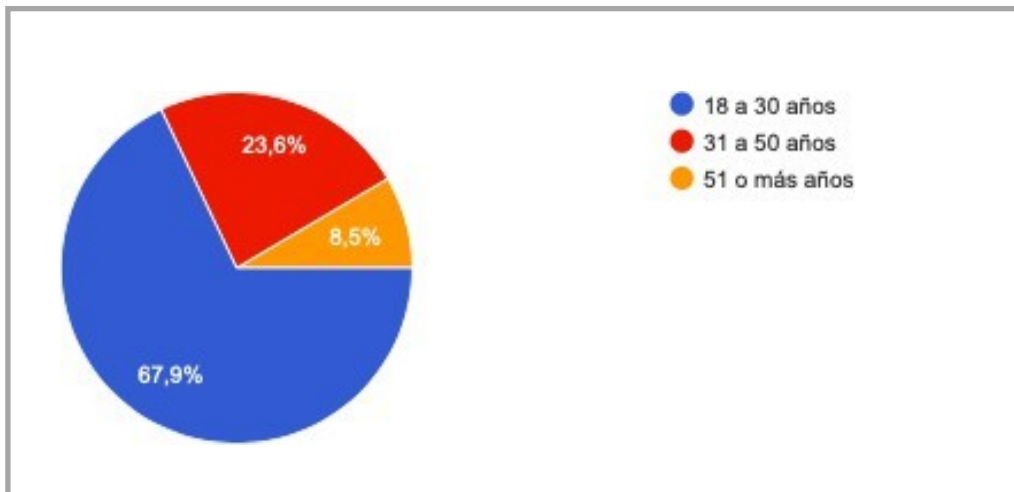
Figura 59. Géneros de la muestra del estudio de mercado.



Cuadro 75. Género en el estudio de mercado

Pregunta	¿Cuál es su género?	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
Mujer	66%	254
Hombre	33.5%	129
Prefiero no decirlo	0.5%	1

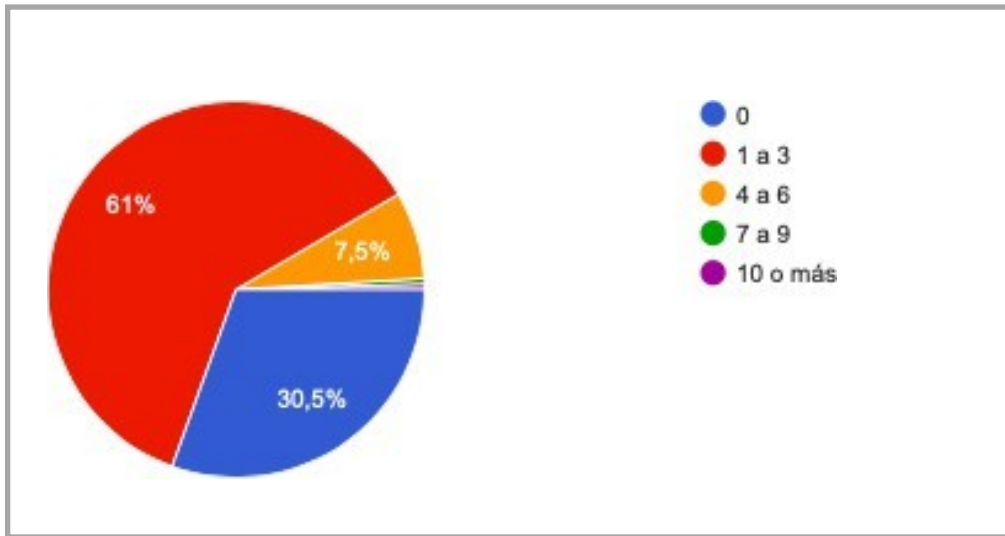
Figura 60. *Edades de la muestra*



Cuadro 76. *Edades en el estudio de mercado*

Pregunta	¿Cuántos años tiene?	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
18 a 30	67.9%	261
31 a 50	23.6%	91
51 o más	8.5%	32

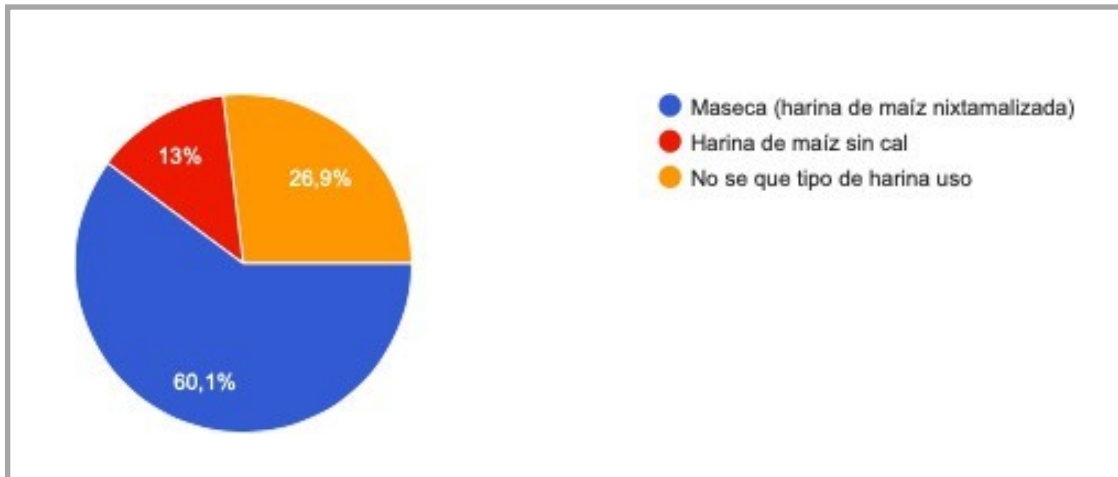
Figura 61. Consumo de tortilla.de la muestra



Cuadro 77. Consumo de tortillas

Pregunta	¿Cuántas tortillas consume a diario?	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
0	30.5%	117
1 a 3	61%	234
4 a 6	7.5%	29
7 a 9	0.5%	2
10 o más	0.5%	2

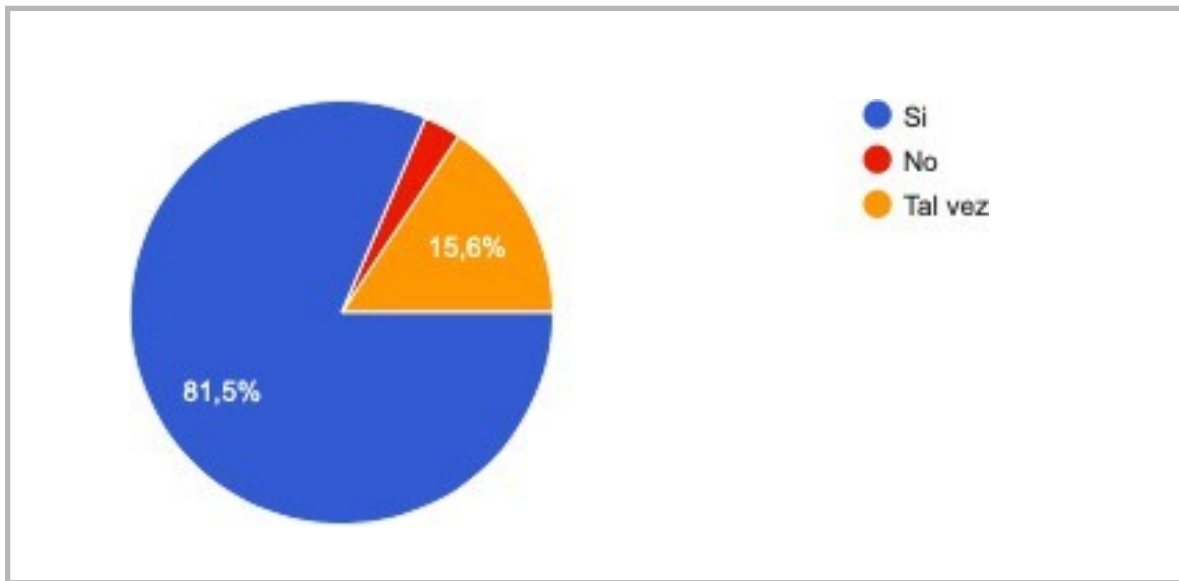
Figura 62. Consumo de harinas de la muestra



Cuadro 78. Consumo de harinas

Pregunta	¿Qué tipo de harina usa para hacer las tortillas que consume?	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
Harina de maíz nixtamalizada	60.1%	231
Harina de maíz sin cal	13%	50
No se que tipo de harina consumo	26.9%	103

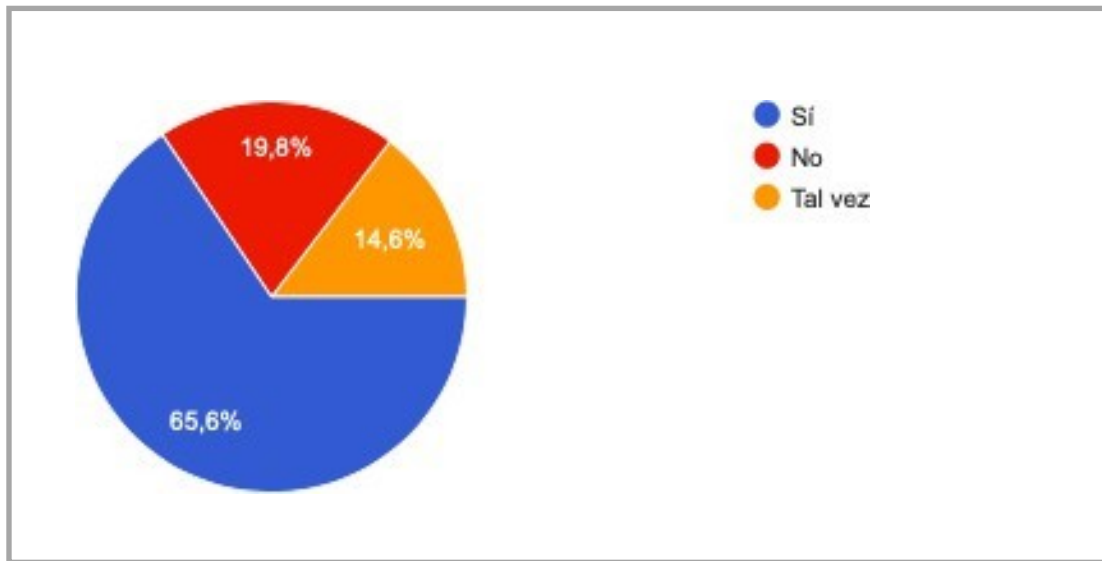
Figura 63. Consumo de la muestra de harinas con más nutrientes



Cuadro 79. Percepción del consumo de harinas con más nutrientes

Pregunta	¿Consumiría harinas de maíz con mayor contenido de nutrientes?	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
Si	81.5%	313
No	2.8%	11
Tal vez	15.6%	60

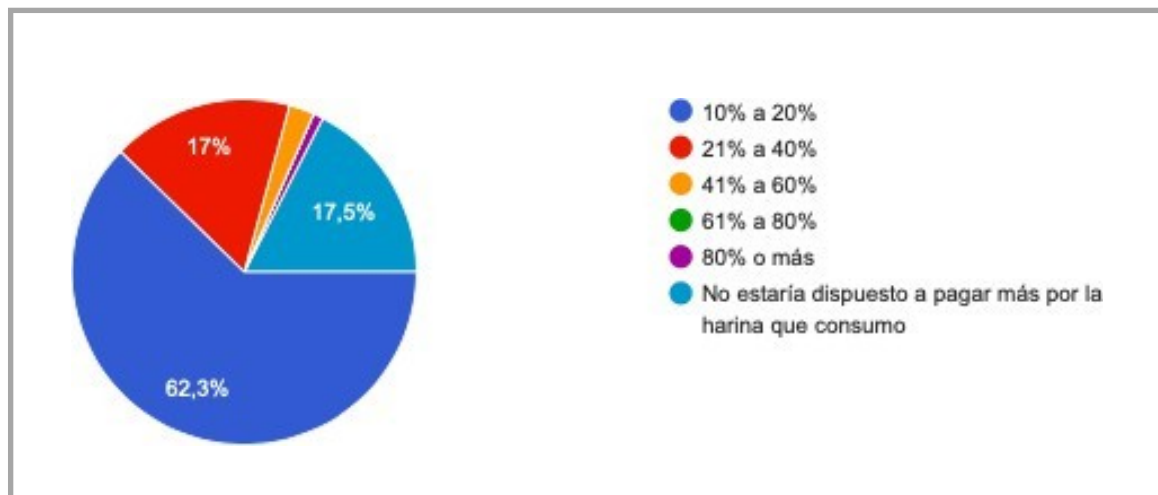
Figura 64. *Percepción de la muestra del consumo de nutrientes*



Cuadro 80. *Percepción de la preocupación por el acceso a nutrientes*

Pregunta	¿Se preocupa por los nutrientes que consume a diario?	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
Sí	65.6%	252
No	19.8%	76
Tal vez	14.6%	56

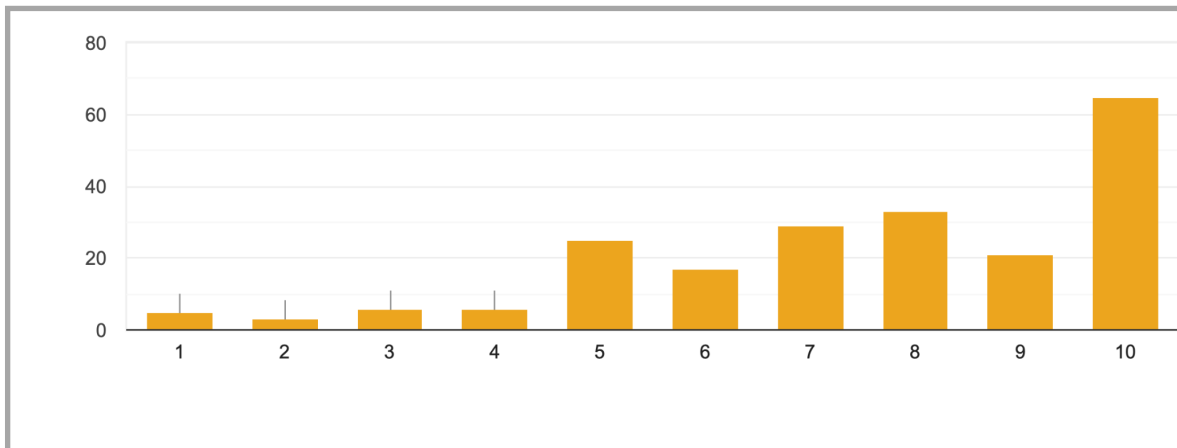
Figura 65. Percepción de la muestra en el cambio del precio de tortillas con más nutrientes



Cuadro 81. Disponibilidad de aumentar el pago por el consumo de nutrientes

Pregunta	¿Cuánto más estaría dispuesto a pagar por harinas con mayor contenido de nutrientes? *En base al precio que paga actualmente	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
10% a 20%	62.3%	239
21% a 40%	17%	65
41% a 60%	2.4%	9
61% a 80%	0%	0
80% o más	0.9%	3
No estaría dispuesto a pagar más por la harina que consumo	17.5%	67

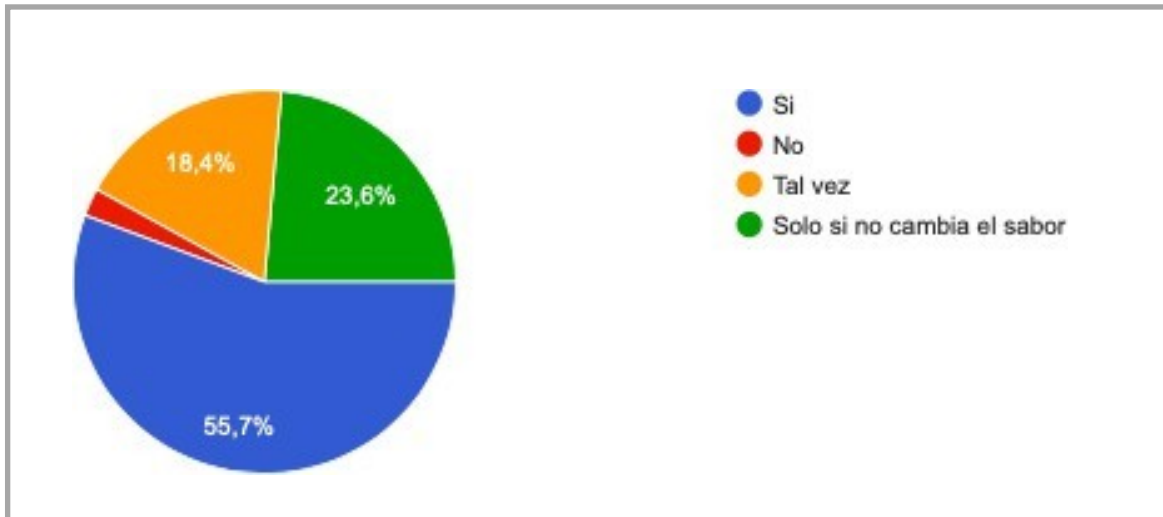
Figura 66. percepción de la muestra del sabor de la Salvia hispánica



Cuadro 82. Percepción del sabor de la Salvia hispánica

Pregunta	De 1 a 10 califique el sabor de la chía o del chan	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
1 (no me gusta)	2.4%	9
2	1.4%	5
3	2.9%	11
4	2.9%	11
5	11.9%	46
6	8.1%	31
7	13.8%	53
8	15.7%	60
9	10%	38
10 (Me gusta)	31%	119

Figura 67. Disposición de la muestra a comer harinas con chía



Cuadro 83. Percepción del consumo de harinas de maíz fortificadas con *Salvia hispánica*

Pregunta	¿Estaría dispuesto a consumir harinas de maíz fortificadas con chía?	
Encuestados	384	
Respuesta	Porcentaje	Personas
Si	55.7%	214
No	2.4%	9
Tal vez	18.4%	71
Solo si no cambia el sabor	23.6%	91

Con base en el estudio de mercado, se determinó que el consumo diario de tortillas está entre 1 a 3. El 60.1% de estas tortillas se realizan con harinas de maíz nixtamalizado, sin ningún agente fortificante adicional. El 81.5% de las personas está dispuesta a consumir tortillas con más nutrientes, por lo que la mayoría tiene interés en conseguir harinas que tengan una mayor cantidad de nutrientes. A pesar de este interés solo el 65.6% tiene una preocupación por los nutrientes que consumen al día.

En el precio, se vio que el 82.5% está dispuesto a pagar más por harinas que contengan más nutrientes. El 62.3% de las personas dijeron que estarían dispuestos solo a pagar un aumento entre el 10% y el 20%.

Por otra parte, respecto al sabor de la *Salvia hispánica*, se ve un sesgo hacia los valores más altos, representando una alta afinidad por el sabor del producto. El 55.7% de la muestra está dispuesta a consumir y pagar por harinas fortificadas con *Salvia hispánica* y el 23.6% dijo que las consumiría con la condición de que no cambie el sabor de las tortillas.

Entre los principales hallazgos del estudio de mercado se encuentra que, en promedio, una persona consume entre 1 y 3 tortillas diarias, es decir, entre 31 y 93 al mes. Por lo tanto, deben hacer empaques que puedan abastecer este consumo. Es importante tomar en cuenta que el sabor puede afectar al consumo de esta. El 18.4% de los encuestados se encuentra inseguro sí consumiría harinas de maíz nixtamalizadas con *Salvia hispánica* como fortificante.

5. *Benchmark* de precios de la harina de maíz nixtamalizada

Para los precios, se ~~hizo~~ un estudio en tres diferentes puntos de venta para determinar el precio de la harina de maíz fortificada.

Cuadro 84. *Benchmark del precio de mercado de la harina de maíz nixtamalizada*

Punto de venta	Marca	Gramaje (g)	Costo (Q)	Costo por gramo (Q/g)
PDV 1	Marca comercial 1	2000	24.75	0.012
PDV 1	Marca comercial 1	800	10.25	0.013
PDV 1	Marca comercial 2	2268	26.20	0.011
PDV 2	Marca comercial 1	2000	28.50	0.014
PDV 2	Marca comercial 1	800	10.75	0.013
PDV 2	Marca comercial 2	2270	29.55	0.013
PDV 2	Marca comercial 2	907	9.95	0.011
PDV 3	Marca comercial 1	3991.61	46.45	0.012
PDV 3	Marca comercial 2	11339.8	114.95	0.010
Promedio				0.012

Cuadro 85. *Gramaje de las presentaciones de harinas de maíz nixtamalizadas*

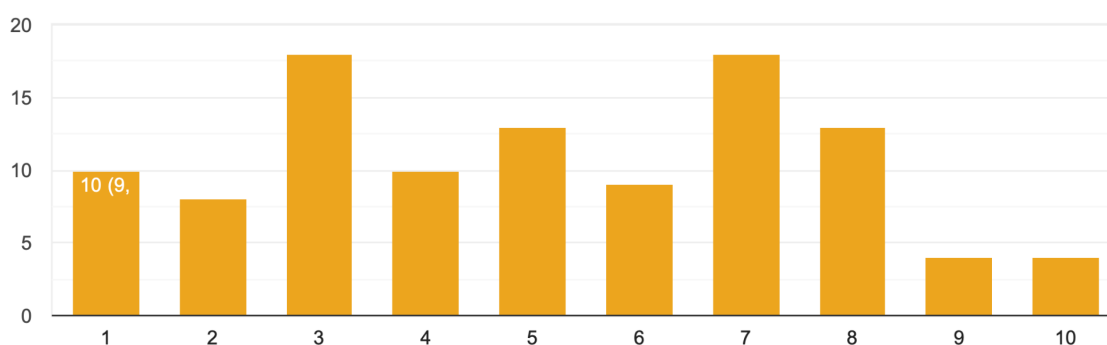
Marca	Presentación grande (g)	Presentación mediana (g)	Presentación pequeña (g)
Marca comercial 1	3991.61	2000.00	800.00
Marca comercial 2	11339.80	2268.00	907.00
Promedio	7665.71	2134.00	835.50

Con base en el benchmark se determinó que el costo promedio es de Q 0.012 por gramo. Las presentaciones del punto de venta. Hay tres tipos de presentaciones grande, mediana y pequeña. Entre las dos marcas evaluadas el promedio de gramaje de estas presentaciones es de 7665.71 g (grande), 2134 g (mediana) y 835.50 g (pequeña). Con el estudio de mercado y el benchmark de precios, se puede determinar cuáles son las mejores presentaciones y el costo por gramo promedio para el mercado potencial.

6. Panel sensorial

Se realizó un panel sensorial con 107 personas para determinar el sabor y características del producto. Este panel tuvo el propósito de recopilar las opiniones del sabor de la tortilla. Se pasaron muestras de la formulación con el 40% de *Salvia hispánica* y el 60% de maíz con adición de vitamina C.

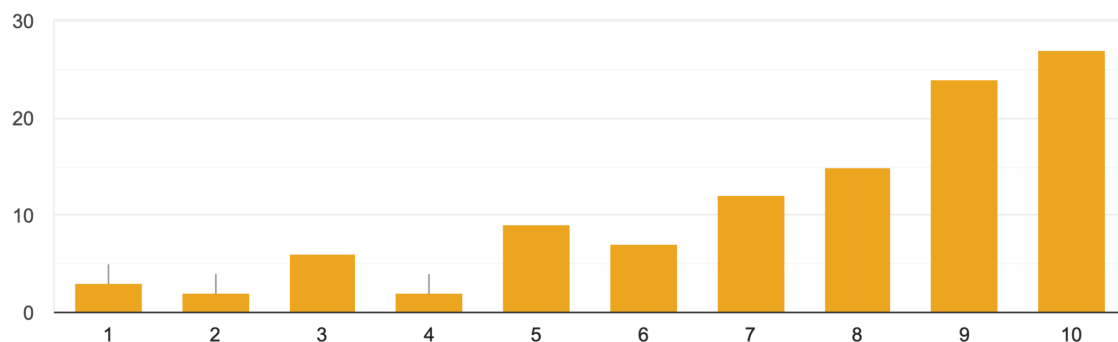
Figura 68. Percepción de la muestra del sabor de las tortillas con harina de maíz nixtamalizada fortificada con *Salvia hispánica*



Cuadro 86. Percepción del color de las tortillas con harina de maíz nixtamalizado fortificado con *Salvia hispánica*

Pregunta	¿Qué tanto le gustó el sabor de la muestra? Siendo 1 poco y 10 mucho	
Encuestados	107	
Respuesta	Porcentaje	Personas
1 (no me gusta)	9.3%	10
2	7.5%	8
3	16.8%	18
4	9.3%	10
5	12.1%	13
6	8.4%	9
7	16.8%	18
8	12.1%	13
9	3.7%	4
10 (Me gusta)	3.7%	4

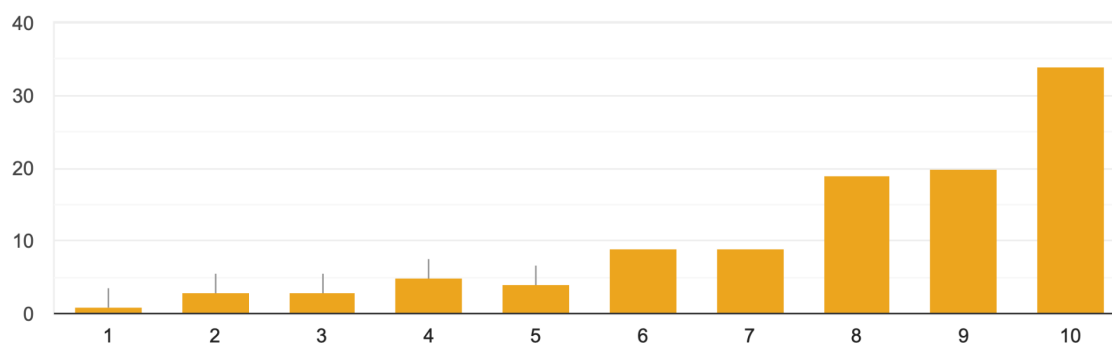
Figura 69. *Percepción de la muestra de la apariencia de las tortillas hecha con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica*



Cuadro 87. *Percepción de la apariencia de la tortilla*

Pregunta	¿Qué tanto te gustó el aspecto de las tortillas? siendo 1 poco y 10 mucho	
Encuestados	107	
Respuesta	Porcentaje	Personas
1 (no me gusta)	2.8%	3
2	1.9%	2
3	5.6%	6
4	1.9%	2
5	8.4%	9
6	6.5%	7
7	11.2%	12
8	14%	15
9	22.4%	24
10 (Me gusta)	25.2%	27

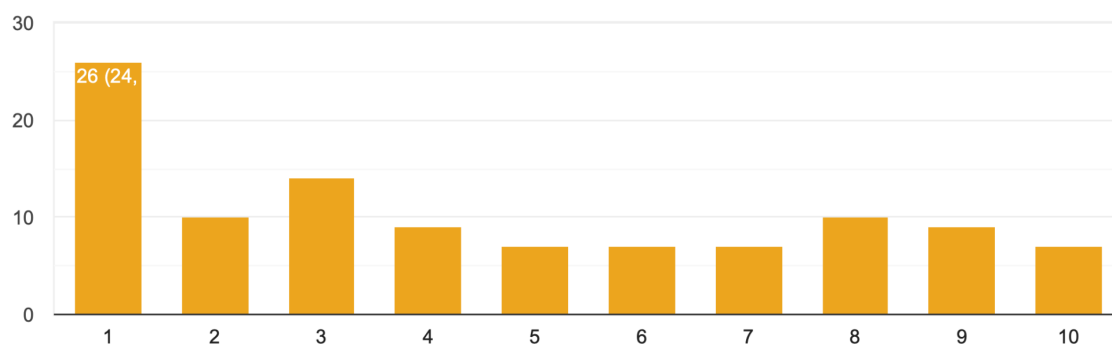
Figura 70. *Percepción del cambio de sabor e las tortillas hecha con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica contra las tortillas convencionales*



Cuadro 88. *Percepción del cambio de sabor de las tortillas hecha con harina de maíz nixtamalizado fortificado con Salvia hispánica, contra las tortillas convencionales*

Pregunta	¿Qué tanto cambia el sabor a comparación de una tortilla convencional? Siendo 1 poco y 10 mucho	
Encuestados	107	
Respuesta	Porcentaje	Personas
1 (poco)	0.9%	1
2	2.8%	3
3	2.8%	3
4	4.7%	5
5	3.7%	4
6	8.4%	9
7	8.4%	9
8	17.8%	19
9	18.7%	20
10 (mucho)	31.8%	34

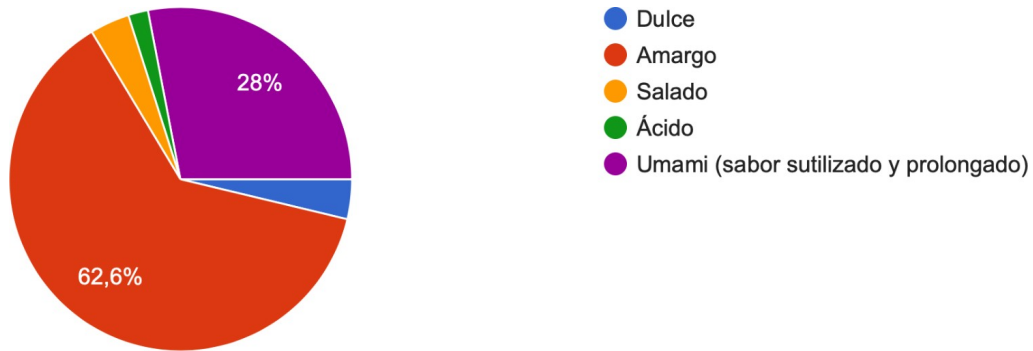
Figura 71. Percepción de la muestra sobre textura de las tortillas hechas con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica



Cuadro 89. Percepción de la textura de las tortillas fortificadas con Salvia hispánica

Pregunta	¿Cómo sientes la textura de las tortillas? siendo 1 suave y 10 duras	
Encuestados	107	
Respuesta	Porcentaje	Personas
1 (Suaves)	24.5%	26
2	9.4%	10
3	13.2%	14
4	8.5%	9
5	6.6%	7
6	6.6%	7
7	6.6%	7
8	9.4%	10
9	8.5%	9
10 (Duras)	6.6%	7

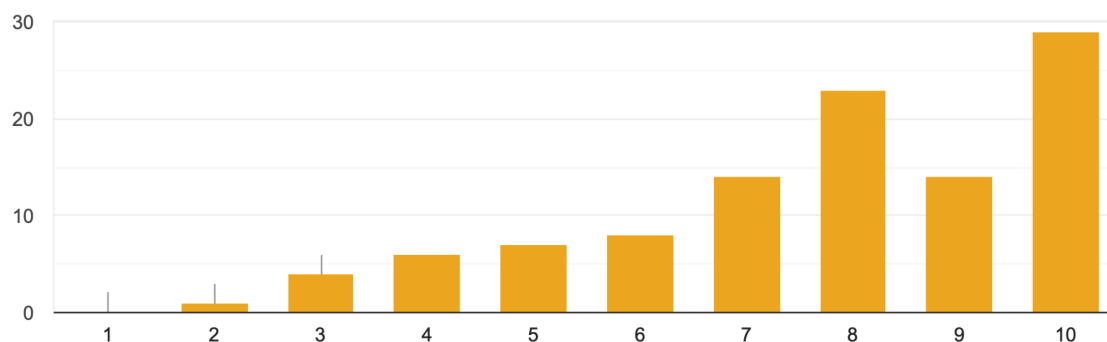
Figura 72. *Percepción de la muestra del sabor de las tortillas hechas con harina de maíz nixtamalizada fortificadas con Salvia hispánica*



Cuadro 90. *Percepción del sabor de las tortillas fortificadas con Salvia hispánica*

Pregunta	¿Cuál fue el sabor que más detectaste en las tortillas?	
Encuestados	107	
Respuesta	Porcentaje	Personas
Dulce	3.7%	4
Amargo	62.6%	67
Salado	3.7%	4
Ácido	1.9%	2
Umami	28%	30

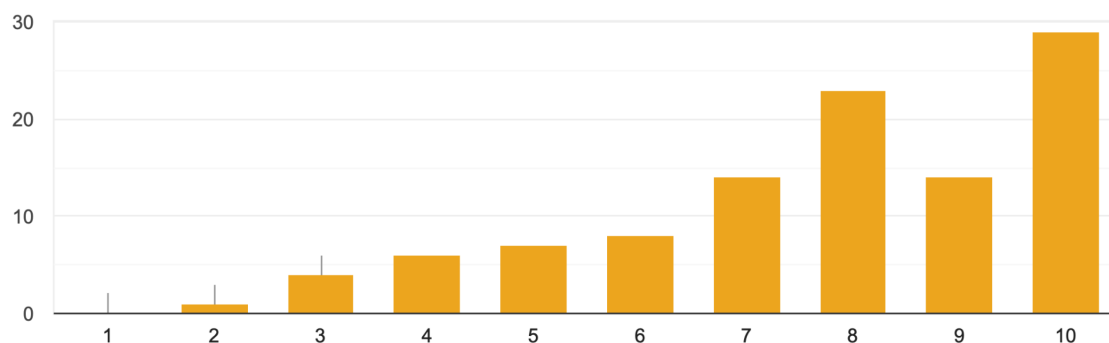
Figura 73. *Percepción de la muestra del color de las tortillas con harina de maíz nixtamalizada fortificada con Salvia hispánica*



Cuadro 91. *Percepción del color de las tortillas con harina de maíz nixtamalizado fortificado con Salvia hispánica*

Pregunta	¿Qué tanto le gustó el color de la muestra? Siendo 1 poco y 10 mucho	
Encuestados	107	
Respuesta	Porcentaje	Personas
1 (no me gusta)	0%	0
2	0.9%	1
3	3.8%	4
4	5.7%	6
5	6.6%	7
6	7.5%	8
7	13.2%	14
8	21.7%	23
9	13.2%	14
10 (Me gusta)	27.4%	29

Figura 74. Percepción de la muestra del aroma de las tortillas con harina de maíz nixtamalizada fortificada con Salvia hispánica



Cuadro 92. Percepción del olor de las tortillas con harina de maíz nixtamalizado fortificado con Salvia hispánica

Pregunta	¿Qué tanto le gustó el aroma de la muestra? Siendo 1 poco y 10 mucho	
Encuestados	107	
Respuesta	Porcentaje	Personas
1 (no me gusta)	1.1%	1
2	4.8%	5
3	1.9%	2
4	6.7%	7
5	17.3%	19
6	9.6%	10
7	10.6%	11
8	12.5%	13
9	17.3%	19
10 (Me gusta)	18.3%	20

7. Consumo promedio de tortillas y valores nutricionales brindados con la fortificación

En base al estudio de mercado realizado se determinó que en promedio los guatemaltecos consumen 3 tortillas al día, representando en promedio 90 tortillas al mes. Con el consumo de tres tortillas al día se estarían consumiendo los siguientes nutrientes:

a. Macronutrientes:

1. Proteínas: 7.26 g (14.51% de las proteínas que se deben consumir diariamente).
2. Grasas: 8.92 g (11.43% de las grasas que se deben de consumir a diario)
3. Carbohidratos: 38.76 g (14.09% que se deben consumir al día).
4. Fibras dietéticas: 12.76 g (45.57% de los requerimientos diarios)

b. Energía:

1. Calorías: 254 kcal (12.7% de las calorías que deben consumirse al día).

c. Micronutrientes:

1. Fósforo: 314.08 mg (25.12% de los requerimientos diarios).
2. Calcio: 206.33 mg (15.87% de lo requerido al día)
3. Vitamina C: 27.55 mg (30.61% del consumo diario)

XIII. GLOSARIO

- **Maíz:** es un grano proveniente de Mesoamérica
- **Nixtamalización:** es el proceso mediante el cuál se realiza la cocción de maíz con agua y cal para aumentar la calidad nutricional del grano.
- **Nixtamal:** grano de maíz nixtamalizado.
- **Harina:** polvo que se obtiene al moler granos crudos y se usan como materia prima para la elaboración de diferentes alimentos.
- **Tortilla:** producto derivada de la harina con forma circular
- **Salvia hispánica:** semillas nativas del centro y sur de México, cuentan con un alto valor de omega 3.
- **Fortalecimiento:** adición de uno o más nutrientes esenciales para corregir una deficiencia en una población.
- **Súper alimento:** alimento rico en nutrientes especialmente en fibra, antioxidantes, vitaminas y ácidos grasos.
- **Valor diario:** cantidades recomendadas de nutrientes que se deben de consumir al día.
- **Porcentaje de valor diario:** porcentaje que aporta un determinado alimento en la ingesta de los nutrientes en el día.
- **Proteínas:** macromoléculas formadas por cadenas de aminoácidos que ayudan al desarrollo y funciones del cuerpo humano.
- **Fibras dietéticas:** parte de los alimentos vegetales que no puede ser digerida por el cuerpo. Puede ser soluble o insoluble ayuda a regular los niveles de colesterol y azúcar en la sangre.
- **Carbohidratos:** biomoléculas formadas por carbonos e hidrógenos ayudan al cuerpo al almacenamiento y suministro de energía.
- **Desnutrición:** afección que se presenta al cuerpo cuando no se reciben los suficientes nutrientes.
- **Desnutrición crónica:** afección cuando no se tienen los nutrientes necesarios en un tiempo prolongado, esta afección es multicausal afectando en el desarrollo físico y mental.

- **Masa dura:** masa de tortilla con poca maquinabilidad
- **Masa pegajosa:** masa con capacidad de adherirse a la superficie
- **Hemicelulosa:** heteropolisacárido que forma parte de la pared celular vegetal.