

Diseño de una línea de producción para la elaboración de pan a partir de la harina de amaranto (*Amaranthus hybridus*) y harina de arroz (*Oryza sativa*) para celíacos

Mayra Mosquera ⁽¹⁾; Jorge Pacheco ⁽²⁾; Ing. Ernesto Martínez ⁽³⁾.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
emosquer@espol.edu.ec ⁽¹⁾ jofrpach@espol.edu.ec ⁽²⁾ ermarlo@gye.net ⁽³⁾

Resumen

Durante mucho tiempo los productos de panificación han sido elaborados con la misma materia prima (harina de trigo) haciéndolo un producto con alto contenido en gluten comprendiendo alrededor del 11% del peso total en una harina. La celiaquía es una enfermedad, aunque poco conocida, real en nuestra sociedad, se trata de personas que padecen de intolerancia al gluten por su contenido de gliadina, que es la proteína vegetal que causa la inflamación del intestino delgado.

En este proyecto de tesis se diseñó una línea de producción para la elaboración de pan para celíacos a partir de amaranto y harina de arroz, enfocándonos a la mejora de las necesidades nutricionales. Para llevar a cabo este proceso se utilizó el diseño de experimentos para obtener la fórmula final. Luego, realizando pruebas físico-químicas y microbiológicas se caracterizó el producto final asegurando su aceptación y posteriormente se diseñó las aéreas designadas para la producción y su distribución, así como sus equipos auxiliares. Para concluir se dará a conocer la efectividad del trabajo, añadiendo las recomendaciones en base a la experiencia adquirida durante la elaboración de este proyecto, dejando abierta la posibilidad de nuevas alternativas de consumo para el arroz y el amaranto en el diseño de experimento.

Palabras Claves: Celíacos, pan, harina de amaranto, harina de arroz, línea de producción.

Abstract

During many years the products of making bread have been made with the same prime ingredient (wheat flour) making the product with a high content of gluten which makes up 11% of the total weight of the flour. celiac is a disease that is not common in our society, this disease has to do with people that do not tolerate gluten because of its content of gliadin which is a vegetable protein that inflamates the small intestine.

In this project we have designed a line of production in making bread for those that suffer celiac disease, where amarant and wheat flour are use in order to better the nutritional needs. To do this process we use experiments to obtain the final formula. Later on making chemical - physical and microbiological test characterized the final product assuring its acceptance. Afterwards the areas for production and distribution were designed a long with auxiliary equipment.

To conclude the effectiveness of the project will be given by the recommendation done while the project was been elaborated, living and open door for new alternative of consuming rice and amarant in the experiment designed

Keywords: Celiac, bread, amarant flour, rice flour, line of production.

1. Introducción

El pan, considerado de categoría popular en el Ecuador, es un alimento imprescindible para muchas personas, ya que las materias primas utilizadas para la elaboración de este producto contienen proteínas, vitaminas y cereales que aportan hidratos de carbono

muy necesarios para mantener una perfecta salud. Sin embargo no todas las personas pueden consumir este tipo de producto. Este tipo de personas presentan cuadros clínicos que los hacen intolerantes al gluten, proteína que se halla en el trigo, entre las personas que padecen de este trastorno se encuentran los celíacos.

El amaranto es una planta perteneciente a la familia amaranthaceae con sabor muy similar a la nuez. Conocido en Ecuador como "ataco", "sangoroche". Contiene más hierro que las espinacas con mayor contenido de fibra; mientras que su semilla aporta más proteínas que el trigo o el maíz. Teniendo 80% más proteínas que el trigo y el doble que el maíz o el arroz. Además aporta calcio, fósforo, vitamina E y es pobre en grasa.

Este cereal, a diferencia de los habituales, contiene lisina, metionina y cisteína lo que hace un cereal más opcional para el consumo y que sea de mayor preferencia. Conteniendo 5 veces más lisina y el doble de metionina con respecto al trigo. Además, no posee gluten razón por la cual puede ser consumida por celíacos.

Mientras que el arroz es una especie perteneciente a la familia de las gramíneas. Su fruto es comestible y de mayor demanda a nivel mundial. Uno de los principales nutrientes son los hidratos de carbono, aunque también aporta minerales, vitaminas (niacina y tiamina) y proteínas en bajas cantidades.

La elaboración de productos que proceden de la mezcla del amaranto y arroz es escasa. Esta tesis propondrá una alternativa para darle un valor agregado al Pan, así como también satisfacer las exigencias del mercado, esto es proveer un diseño de una línea de producción para la elaboración de pan para celíacos y de esta manera optimizar tiempos y personal para el desarrollo de este tipo de pan.

2. Composición química y valor nutricional de la harina de amaranto

Durante los últimos años se ha comprobado por medio de varias técnicas modernas la calidad y el alto valor nutritivo del amaranto lo que ha llamado la atención a muchos investigadores especialistas en alimentos, la composición química de la harina de amaranto tabla 1 presenta valores de humedad, proteína, grasa, fibra, cenizas y carbohidratos

Tabla 1. Análisis de la harina integral de Amaranto g/100g

	(1)	(2)
Humedad (%)	10,1	8,3
Proteína	17,8	14,2
Grasa	3,2	6,3
Fibra	5,1	—
Cenizas	2,1	3,0
Carbohidratos	61,7	—

Fuente: Sánchez, M.A. y S. Maya. 1986. Enriquecimiento del maíz con harina de amaranto en la elaboración de tortilla(4); Rayas-Duarte, P., C.M. Mock y L.D. Satterlee. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth and lupin flours(5). (2012)

3. Composición química y valor nutricional de la harina de arroz

Tabla 2. Composición química y nutricional de la harina de arroz.

Grupo	Cereales
Porción comestible	1,00
Agua (ml)	12,10
Energía (Kcal)	361,00
Carbohidratos (g)	79,00
Proteínas (g)	7,40
Lípidos (g)	0,60
Colesterol (mg)	0,00
Sodio (mg)	6,20
Potasio (mg)	112,00
Calcio (mg)	13,60
Fósforo (mg)	117,00
Hierro (mg)	0,83
Retinol (mg)	27,90
Ácido ascórbico (Vit. C) (mg)	0,00
Riboflavina (B2) (mg)	0,03
Tiamina (B1) (mg)	0,05
Ácido fólico (µg)	0,00
Cianocobalamina (B12) (µg)	0,00
Fibra vegetal (g)	0,20
Ácidos Grasos Poliinsaturados (g)	0,00
Ácidos Grasos Monoinsaturados (g)	0,00
Ácidos Grasos Saturados (g)	0,00
Ácido Linoleico (g)	0,00
Ácido Linoléico (g)	0,00

Fuente: Nutriguia, Harina de Arroz: Composición Nutricional (11).

4. Proceso de elaboración del pan

La textura del pan va a depender de la riqueza de la fórmula usada en la preparación de la masa así como de sus ingredientes. Los cuatro ingredientes básicos en la producción de pan son harina, agua, levadura y sal. Otros ingredientes, tales como leche, huevos, miel, azúcar o nueces también pueden ser añadidos, pero no son elementales (13).

El pan proporciona carbohidratos en forma de almidón. También proporciona proteínas, aceites, fibras de celulosa y algunas vitaminas. Además en muchas áreas del medio y lejano oriente, donde el arroz era un producto básico, el pan fue convirtiéndose lentamente en un producto de primera necesidad. Sin embargo, el crecimiento de los estándares de vida a escala mundial permitió que el pan reemplazara lentamente al arroz como un producto básico y recurso primario de carbohidratos (13).

Existen infinidad de tipos de pan. Cada tipo dependerá de los ingredientes que se le añadan en el proceso de elaboración. Como por ejemplo: el pan de trigo, el pan de cebada, pan de avena, pan de molde, etc.

Para llevar a cabo el proceso de elaboración del pan se necesita realizar las siguientes etapas:

Tamizado.- Es un proceso en el cual se hace aislamiento de la parte más gruesa de un alimento seco y pulverizado por medio del uso de un cedazo o tamiz. Este tamiz ayuda a depurar, elegir con cuidado y minuciosidad. Pasando solo las partículas de menor tamaño a otro recipiente separándolas de las más grandes que quedan retenidas.

Pesado.- Se pesa la harina, azúcar, grasa, sal, levadura y agua.

Mezclado.- Se toma una parte del agua y del azúcar de la fórmula y se mezcla con la levadura dejando reposar por 45 minutos la masa, logrando que se active la levadura.

Amasado.- el objetivo principal del proceso de amasado es de transformar las propiedades físico-químico de la masa para permitir la siguiente fase que es la fermentación dándole elasticidad.

Dividir.- Dividir la masa al tamaño deseado y dejar que crezca en las mismas condiciones que el paso anterior durante 45 minutos a 30°C.

Formar y reposar.- Una vez dividida la bola de masa y después de haber reposado, la siguiente etapa es el formado de la pieza. Esta operación consiste en dar forma simétrica a los trozos de masa. El formado es una de las etapas claves en la elaboración del pan, y muchos de los defectos originados en el pan pueden ser causados por una mala manipulación de la masa durante el formado.

Fermentación.- Es una etapa clave y decisoria en la elaboración del pan, la masa suele adquirir mayor tamaño debido a que la levadura libera dióxido de carbono (CO₂) durante su etapa de metabolismo, ocasionando que la masa se vaya 'inflando' paulatinamente a medida que avanza el tiempo. Durante la ejecución de esta fase del proceso hay que poner especial cuidado en el control de la temperatura, debido a que la máxima actividad metabólica de las levaduras se produce a los 35° a 47°C. (14)

Tanto si se trata de darle forma redonda o alargada a la masa, ha de hacerse apretando lo más posible pero sin desgarrar la masa, ya que si esto ocurre quedará reducido el volumen del pan. El apretar más o menos estará condicionado por la fuerza y la tenacidad de la masa: cuando es floja y extensible habrá que replegar más la masa para dotarla de más fuerza y al contrario si es fuerte habrá que dejarla más floja procurando que no queden bolsas de aire. El alveolado de la miga del pan hecho a mano siempre es mayor que el formado a máquina.

Horneado.- La cocción es la etapa en la cual la masa se transforma en pan. Esta transformación es más o menos rápida según la temperatura del horno y el tamaño de las piezas.

Al comienzo de la cocción y una vez dado el vapor, la masa es suficientemente elástica y puede aumentar de volumen en el horno. El almidón se hincha ligeramente, los gases se dilatan y los alveolos interiores aumentan de volumen. Al mismo tiempo la actividad enzimática se va desactivando a medida que en el interior de la masa se van alcanzando los 75°C. El gluten se coagula y comienza a mantenerse la estructura en la pieza, más adelante el pan comenzará a coger color y a perder humedad.

La temperatura y su evolución durante la cocción será también factor importante para la calidad del pan, que dependiendo del tamaño de la pieza, del contenido en agua de la masa, del tipo de horno, así como de la climatología, deberá estar interrelacionada con el tiempo de permanencia del pan en el horno.

Enfriamiento.- se enfría el producto a temperatura ambiente de tal manera que sea apto para el consumo.

Envasado.- es un método que consiste en proteger al producto de agentes externos en la que ayudara a la manipulación del mismo sin que exista ningún tipo de contaminación o deterioro. Para ello utilizaremos funda de polietileno de baja densidad.

Almacenaje.- el almacenamiento del pan será corto ya que se trata de un producto perecedero al que se le suele añadir sustancias químicas para que alargue su tiempo de vida útil.

5. Análisis Físico

Las características medidas en los panes fueron: dureza, deformación recuperable, adhesividad y resiliencia donde los resultados obtenidos se representan en la tabla 3 y la figura 1 donde se compara la reología de los panes.

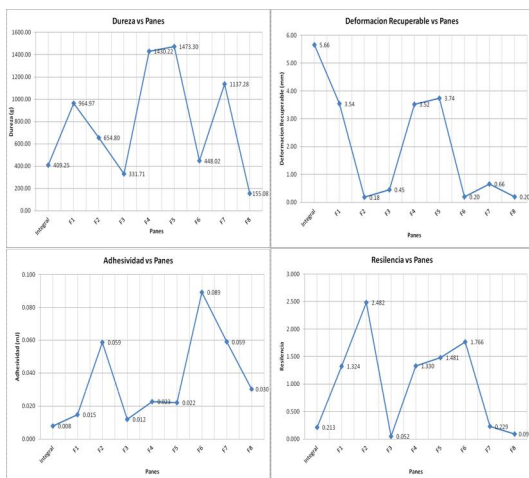
Tabla 3. Análisis de textura

PANES	Dureza (g)	Deformación Recuperable (mm)	Adhesividad (mJ)	Resiliencia
Integral	409.25	5.66	0.008	0.213
F1	964.97	3.54	0.015	1.324
F2	654.80	0.18	0.059	2.482
F3	331.71	0.45	0.012	0.052
F4	1430.22	3.52	0.023	1.330
F5	1473.30	3.74	0.022	1.481
F6	448.02	0.20	0.089	1.766
F7	1137.28	0.66	0.059	0.229
F8	155.08	0.20	0.030	0.093

Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

ecuatoriana para este tipo de productos, los parámetros y requisitos se muestran en la tabla 5.

Figura 1. Análisis de textura



Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

6. Análisis Químico

Las pruebas químicas que se realizaron fueron, determinación de humedad (método termo gravimétrico) y proteínas.

Para determinar la humedad de los panes para celíacos se utilizó la termo balanza KERN (Modelo: M1850-30). Las condiciones y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros químicos de Medición

Parámetro	Resultado %	Método/Ref.
Humedad	32.02 ± 0,362	AOAC 18 th 925.10
Proteína	9,27	AOAC 18 th 920.10

Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

7. Análisis microbiológico

Las pruebas que se le realizan al pan para celíacos una vez ya horneado son de aerobios, mohos y levaduras y E. Coli.

Se utilizó la Norma Oficial Mexicana 247-SSA1-2008 para pan tradicional ya que no existe una norma

Tabla 5. Parámetros Microbiológicos de Medición

Parámetro	Requisitos
Mesófilos aerobios	10 000 UFC/g
Hongos	300 UFC/g
Coliformes totales	<30 UFC/g
Salmonella spp. en 25g	negativa

Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

8. Formulación

Según el análisis físico y análisis sensorial se pudo determinar que la fórmula final e ideal de nuestro pan para celíacos, la cual se representa en la tabla 6.

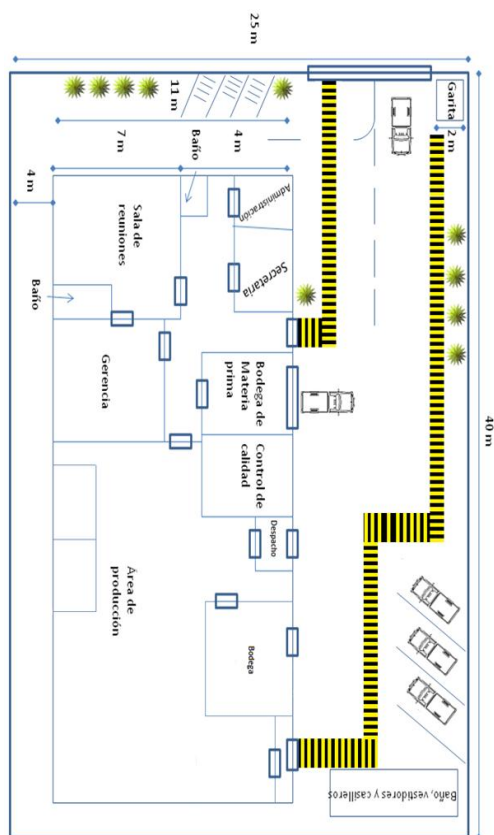
Tabla 6. Fórmula final

INGREDIENTES	%	g
Harina amaranto	50,46	120
Agua	27	89
Huevo	12,61	30
Harina de arroz	6,31	15
Almidón modificado de maíz	6,31	15
Grasa	6,3	15
Leche	6,3	15
Azúcar	5,04	12
Polvo de hornear	1,89	4,5
levadura	1,89	4,5
Sal	1,26	3
Esencia de mantequilla	1,26	3
Dimodan	0,32	0,75
Goma Guar	0,03	0,075

Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

9. Descripción del plano físico del área.

Figura 2. Descripción física del área



Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

10. Requerimiento de energía.

Tabla 7. Requerimiento de energía.

EQUIPO	CANTIDAD	CANTIDAD DE ENERGIA REQUERIDA (kw/h)
AMASADORA	1	7,457
DIVISORA	1	16,8
BANDA TRANSPORTADORAS, ELEVADORES, CADENAS	10	3,11
CAMARA DE FERMENTACION	1	7,5
HORNO	1	Combustible
SISTEMA DE ENVASADO	1	2,1
TOTAL		36,178

Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

11. Requerimiento de agua.

El agua va a ser usada para la etapa de amasado, las características y su calidad se explican en el punto 3.6. la cantidad a usar para el proceso es 3971 L/día. Otra etapa a usar agua es en la fermentación donde se usa 50L diarios.

Para limpieza de equipos se usa agua potable para ayudar a la remoción de los sólidos en los equipos antes de su limpieza y también para su enjuague antes de su sanitización, la cantidad a usar será de 80L aproximadamente.

12. Tabla Relacional de Actividades

Conocido el recorrido de los productos, debe plantearse el tipo y la intensidad de las interacciones existentes entre las diferentes actividades productivas, los equipos auxiliares, los sistemas de transporte y los diferentes servicios de la planta. Estas relaciones no se limitan a la circulación de materiales, pudiendo ser ésta irrelevante o incluso inexistente entre determinadas actividades. La no existencia de flujo de mp entre dos actividades no implica que no puedan existir otro tipo de relaciones, como por ejemplo, la necesidad de proximidad entre ellas; o que las características de determinado proceso requieran una determinada posición en relación a determinado servicio auxiliar. El flujo de mp es solamente una razón para la proximidad de ciertas operaciones unas con otras.

Entre otros aspectos, se consideran:

Tabla 8. Aspectos para elaborar la tabla relacional de actividades.

ASPECTOS	
Exigencias Ambientales	1
Seguridad e Higiene	2
Sistemas de Manipulación	3
Abastecimiento de Energía	4
Evacuación de Residuos	5
Organización de Mano de Obra	6
Control de Proceso	7

Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

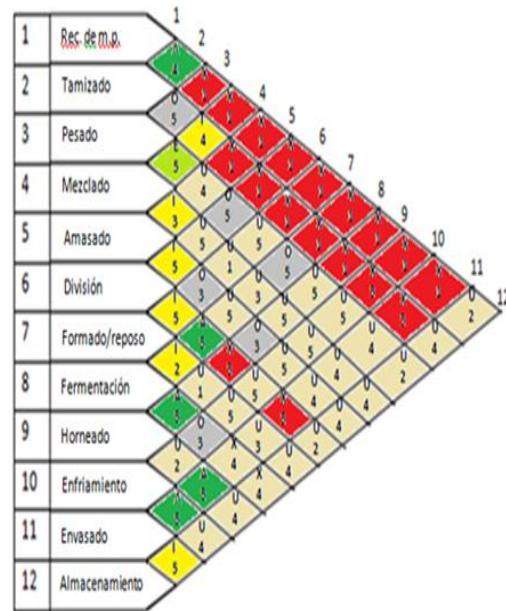
Esta información resulta de vital importancia para poder vincular la distribución de una manera racional. Para poder representar las relaciones encontradas de una manera lógica y que permita clasificar la intensidad de dichas relaciones, se emplea la tabla relacional de actividades (figura 3.8), consistente en un diagrama de doble entrada, en el que quedan plasmadas las necesidades de proximidad entre cada actividad y las restantes según los factores de proximidad definidos a tal efecto. Es habitual expresar estas necesidades mediante un código de letras, siguiendo una escala que decrece con el orden de las cinco vocales.

Figura 3. Relación entre actividades

RELACIÓN ENTRE ACTIVIDADES	
A	Absolutamente Importante
E	Especialmente Importante
I	Importante
O	Ordinaria
U	Sin importancia
X	No deseable

Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

Figura 4. Tabla relacional entre actividades



Elaborado por: Mayra Mosquera, Jorge Pacheco (2012)

10. Conclusiones

La mezcla de harina de arroz con amaranto dio como resultado un pan con alto nivel nutritivo y elevado contenido energético, aprovechando las características nutricionales del amaranto y la elevada producción de arroz.

El amaranto es un cereal que se encuentra disponible en la región andina, y en ciudades como Quito y Riobamba ya elaboran harina a base de este cereal por lo que su disponibilidad sería viable, por eso pequeños productores en menor cantidad utilizan este producto para elaboración de galletas y bebidas.

La elaboración de este producto cubriría necesidades sociales en el país, como fuentes de trabajo al aprovechar el amaranto y arroz para la elaboración de harina, y la posterior producción de pan. Además que personas que sufren de esta dolencia tendrían una alternativa de consumo.

Las maquinarias que se usaran para la elaboración de este producto son accesibles en el mercado ecuatoriano, además de fácil manipulación e

instalación. Debido que implementar una empresa artesanal que se dedique a la fabricación de este producto es factible.

11. Recomendaciones

Realizar el estudio para mejorar el sabor del producto final ya que esto ayudara a tener mayor aceptación por los consumidores y ayudara a ampliar el uso de amaranto para otros productos futuros.

Incentivar a los agricultores en la cosecha de amaranto en la región costa ya que este es adaptable a varios climas, así se podrá facilitar la disponibilidad de materia prima y habrá mayor producción.

Realizar el estudio del uso del amaranto en otros productos como materia prima no convencional para mejorar los valores nutricionales de los mismos.

12. Referencias

- [1] Diario HOY Ciudad Quito, 04/Marzo/2010
<http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/el-ecuador-pierde-opportunidades-de-exportacion-con-el-amaranto-395703.html>.
- [2] Peralta, E. 2010. Producción y distribución de semilla de buena calidad con pequeños agricultores de granos andinos: chocho, quinua, amaranto. Publicación Miscelánea No. 169. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 68 p.
- [3] Investigadores Del Programa De Cultivos Andinos Del INIAP (1998), http://archive.idrc.ca/library/document/100162/chap8_s.html, Artículo "INIAP ALEGRIA" Primera Variedad Mejorada De Amaranto Para La Sierra Ecuatoriana.
- [4] Sánchez M.A. y S. Maya México, Primer Seminario Nacional del Amaranto, Chapingo 1986, archivo (Enriquecimiento del maíz con harina de amaranto en la elaboración de tortilla).
- [5] Rayas-Duarte, P., C.M. Mock y L.D. Satterlee. 1996. Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth and lupin flours. *Cereal Chemistry* 73 (3): 381-387.
- [6] Cervantes, R., Fiorentini, L. 1980, empleo del aislado de proteína de soya en la elaboración de una pasta alimenticia. Tesis de licenciatura. Universidad La Salle. Escuela de Química.
- [7] El Cultivo Del Arroz
<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz.htm>
- [8] Arroz del Ecuador
http://www.ecuaquimica.com/info_tecnica_arroz.pdf
- [9] Situación arroceras ecuatoriana. Corporación de industriales arroceros del Ecuador (CORPCOM).
- [10] Piedra Sthefania, "Mejoramiento del Control de la Etapa de Pulido Mediante el Análisis de Regresión de las variables que Inciden en el Proceso de Pilado del Arroz" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2010)
- [11] Nutriguia, 01/07/2003, Harina de Arroz: Composición Nutricional
http://nutriguia.com/alimentos/harina_de_arroz.html.
- [12] Delgado, 25/04/2011, Tipos De Pan Según La Harina Utilizada Para Su Elaboración
<http://www.vitonica.com/alimentos-funcionales/tipos-de-pan-segun-la-harina-utilizada-para-su-elaboracion>.
- [13] TaiwanTrade, Planta Procesadora De Pan
<http://turnkey.taiwantrade.com.tw/showpage.asp?subid=063&fdname=FOOD+MANUFACTURING&pagename=Planta+de+produccion+de+pan>.
- [14] Gloria Ordoñez; Javier Oviedo, "Alternativas de Aprovechamiento de Harinas no Tradicionales para la Elaboración de Pan Artesanal" (Tesis, Facultad Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2010)
- [15] Manifiesto Celíaco, Plataforma Ciudadana Celíaca,
<http://manifiestoceliaco.files.wordpress.com/2007/04/manifiestoceliaco.pdf>
- [16] Burgos, 19/05/2008, la enfermedad celíaca afecta a una de cada 120 personas
<http://www.dicyt.com/noticias/la-enfermedad-celiaca-afecta-a-una-de-cada-120-personas>
- [17] Verónica Wiñazqui, Que es la Celiaquía,
<http://especiales.perfil.com/celiaquia/celiaco.html>
- [18] Antonio Anzaldúa-Morales, La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza - España
- [19] SANSACASSIANO, Amasadora De Brazos,
<http://www.sancassiano.com/>
- [20] AMF Baker, Divisora De Masa MULTI-Bomba Dosificadora,
<http://www.amfbakery.com/SearchResults.aspx?catid=5&prodtype=EQ>
- [21] CLM Equipos Panadería, Cámara de Fermentación Automática,
<http://www.equipospanaderia.es/2010/04/24/celle-di-lievitazione/>

[22] Termopan, Hornos de túnel,
<http://www.termopan.net/~termopan/catalogos/catalogo%20cinta-red.pdf>

Ing. Ernesto Martínez

15 de Febrero de 2012