

ALIMENTOS
CIENCIA E INGENIERIA
Vol. 16(1). 2007



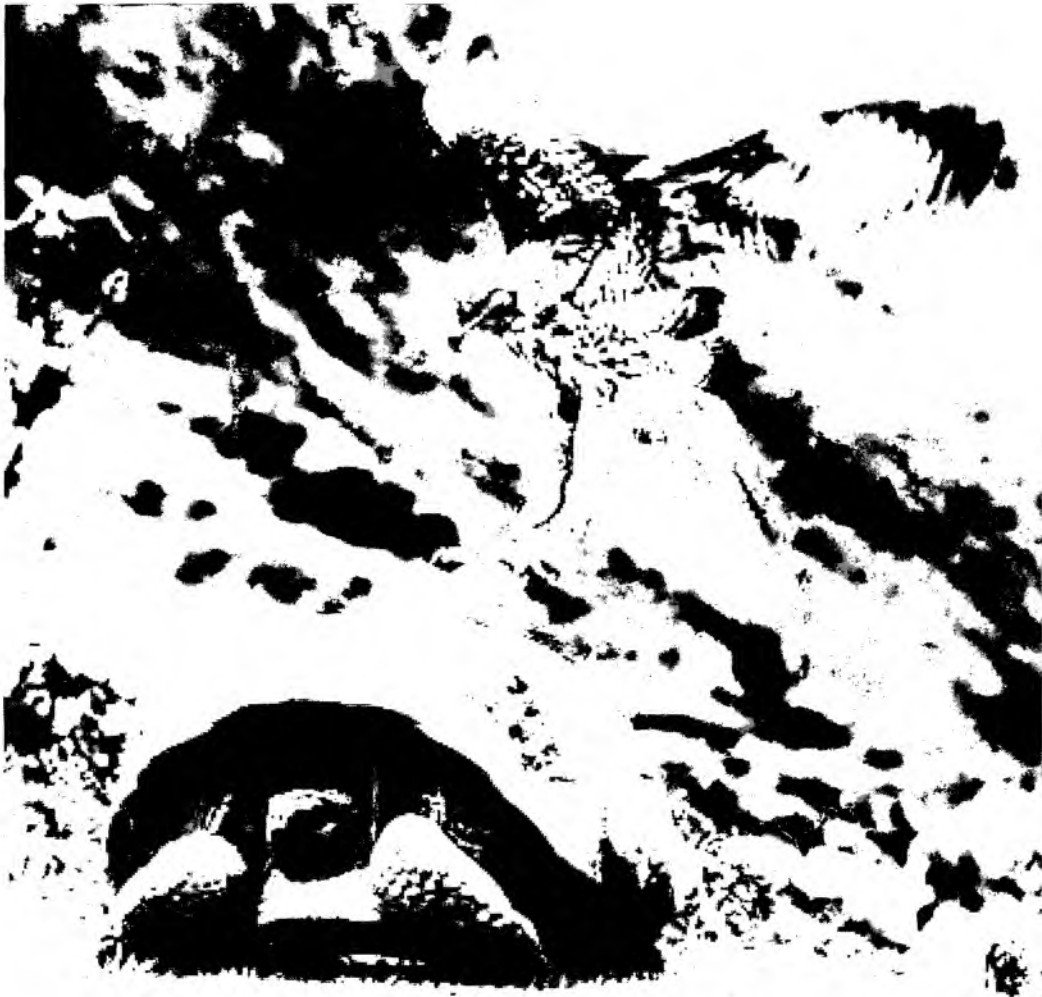
Trabajos aceptados
para su presentación en:

CIBIA VI

VI Congreso Iberoamericano
de Ingeniería en Alimentos
(Conferencias - Procesos)

La revista ALIMENTOS, CIENCIA E INGENIERIA es una publicación semestral de Artículos Técnicos y Trabajos de Investigación realizados en la FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, así como Publicaciones Científicas de otras Universidades e Instituciones, con las cuales la Facultad mantiene convenios de cooperación mediante el intercambio científico y cultural.

Las contribuciones de la presente publicación son responsabilidad absoluta de los autores.



Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

Rector	Ing. M. Sc. Luis Amoroso Mora
Vicerrector Académico	Dr. M. Sc. Galo Naranjo Lopez
Vicerrector Administrativo	Dr. M. Sc. Remigio Medina Guerra
Decano	Ing. MBA. Danilo Morales Carrasco
Subdecana	Ing. Mg. Gladys Navas Miño
Calificación de trabajos	Ing. M. Sc. Ph. D. Milton Ramos Moya
Organización de Contenidos y Revisión	Ing. M.Sc. Juan de Dios Alvarado
ISSN	1390 - 2180

CAMBIOS REOLOGICOS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGURT DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis* Sweet)

Segovia, Gabriela^{1,2}; Villacrés, Elena²; Paredes, Mario¹

¹Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Campus Académico Huachi. Av. Los Chasquis y Río Payamino Telf: 032400987. fcial@uta.edu.ec; gabys64@latinmail.com

² Departamento de Nutrición y Calidad de Alimentos. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Km 1 Panamericana Sur, Quito, Ecuador. Telefax (593-2)3007134, eescdir@panchonet.net; hidalgor@ecnet.ec; www.iniap-ecuador.gov.ec

Palabras claves: Procesos, chocho, proteína hidrolizada, estabilizante, gel, fermentación

RESUMEN

Con el fin de diversificar el consumo del chocho, se investigó y desarrolló la tecnología de elaboración de yogurt, a partir del grano desamargado fresco.

Como materia prima se utilizó el extracto acuoso del grano (leche) y como ingredientes se incorporaron niveles variables de proteína hidrolizada de chocho (0,2; 0,5 %) y solución de sacarosa (15 y 18 ° Brix). Para la fermentación se probaron concentraciones de inóculo al 2,5 y 3 % (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*), el conjunto se incubó a 40°C durante 3,5 horas. Al final del proceso se alcanzó una acidez del 0,65 % (expresado como ácido láctico) y un pH de 4,3; lo cual contribuyó a la gelificación y firmeza del coágulo.

Los cambios reológicos que ocurren cuando el producto se torna espeso, después del período de incubación, se registraron en un viscosímetro rotacional provisto del rotor LV2, correspondiente a la geometría de cilindro simple. Estos parámetros son útiles como medidas de control durante el proceso de elaboración y para fijar las características de calidad preferidas por el consumidor.

La incorporación de proteína hidrolizada, elevó el contenido proteico del producto final hasta un nivel de 6 %, mientras que el contenido de grasa registrado fue del 2,2 %, parámetros que diferencian a este producto, de su homólogo de origen animal y lo hacen apto para dietas especiales con restricción en el consumo de grasa y colesterol.

INTRODUCCIÓN

El aceite y las proteínas almacenados en los cotiledones de la semilla de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), son los elementos de mayor interés nutricional e industrial. Esta leguminosa produce, en promedio 765 kg de proteína y 300 Kg de aceite por hectárea. El mayor potencial de la proteína está en el área del mejoramiento nutricional de alimentos, sin embargo tiene aplicación como ingrediente funcional, debido a su capacidad para formar o estabilizar geles, espumas, masas, emulsiones y estructuras fibrilares. Esta propiedad se aprovecha en el procesamiento de sustitutos lácteos con diferentes características reológicas, los cuales son de menor costo que la leche entera de vaca y ofrecen la oportunidad de fortificarlos, mediante la adición de proteína, aminoácidos específicos, vitaminas o minerales (Johannsen, 1996).

Durante el proceso de elaboración del yogurt, sus propiedades físicas cambian por efecto de varios factores como: el tratamiento térmico de la leche, el contenido de proteína, la homogeneización, la acidez, el cultivo de microorganismos, el manejo mecánico del coágulo y la presencia de estabilizadores. Parnell-Clunies y colaboradores (1986), establecieron que el tratamiento térmico de la leche a temperaturas ultra altas (UHT), provoca yogurts de baja viscosidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Chocho, variedad Andino 450, leche en polvo (La Vaquita), cultivo láctico Fermelac[®], proteína hidrolizada de chocho, estabilizante, azúcar. Materiales de uso común de laboratorio. Molino *Geng* para granos húmedos, provisto de un tamiz de abertura 0.1 mm., Modelo FDM-Z100.

Métodos

Preparación del yogurt con incorporación de proteína hidrolizada

El grano desamargado fresco fue molido en el molino *Geng*, manteniendo una relación 1:2, es decir por cada kilogramo de chocho, se utilizó dos litros de agua. Al final del proceso se obtiene una fracción líquida denominada leche y otra residual sólida, denominada torta.

En la leche recuperada se probó la incorporación de dos niveles de proteína hidrolizada de chocho (0.2 y 0,5 %) y dos concentraciones de sólidos solubles (15 y 18 °Brix). Se homogenizó el conjunto a 60°C durante un minuto, luego fue pasteurizado a 87°C por 5 minutos; al cabo de este tiempo se enfrió el producto a 40°C y se inocularon concentraciones variables de cultivo láctico (2,5 y 3 % v/v). El conjunto fue incubado a 40 °C durante 3,5 horas y luego enfriado a 15 °C, obteniéndose un producto gelificado, el cual fue caracterizado.

Caracterización

- Acidez titulable: Método de la A.S.B.C. 1991 Adaptado en el Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP.
- pH: Método de la A.S.B.C. 1991 Adaptado en el Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP.
- Viscosidad y parámetros reológicos: se empleó un viscosímetro rotacional marca Brookfield LVTD; con adaptadores UL y LV2, radio interior de 0.005128 m y radio exterior de 0.006475 m
- Análisis proximal: Proteína bruta, cenizas, fibra bruta, humedad. Métodos de la A.O.A.C. (1986), adaptados en el Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP (1991).
- Sólidos totales: según el método establecido en la Norma INEN 014.

- Grasa: método Gerber, (1992)
- Contenido de minerales (macro y micro elementos), 1991: Por Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Perfil de aminoácidos: Por Cromatografía Líquida de Alta Resolución, HPLC.

El paquete estadístico *Statgraphics Plus* versión 4.5, se utilizó para evaluar los datos del presente estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la fermentación se evaluó el efecto de la incorporación de proteína hidrolizada, nivel de inóculo y sólidos solubles sobre la cinética de fermentación.

Acidez Titulable

Se determinó una relación directamente proporcional entre el tiempo de fermentación y el desarrollo de la acidez, debido a la producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, por acción glucolítica de las bacterias *S. thermophilus* y *L. bulgaricus* sobre la sacarosa y la lactosa de la leche en polvo añadida. Concentraciones de proteína hidrolizada al 0,5 % e inóculo al 3 % favorecieron el desarrollo de la acidez hasta niveles comprendidos entre 0,61 y 0,65 %, en un tiempo promedio de 3,5 horas. Estos valores se encuentran dentro de las reglamentaciones establecidas en la Norma INEN 710, para este tipo de productos.

pH

En contraste con la acidez, los valores de pH disminuyeron a medida que avanzó el tiempo de fermentación, hasta niveles entre 4,2 y 4,3. Este valor se encuentra en las proximidades del punto isoeléctrico de la proteína (4,5), lo que provocó su precipitación, contribuyendo a la formación, firmeza del gel y al sabor característico del producto.

Comportamiento reológico

Las propiedades reológicas de los productos lácteos han sido ampliamente estudiadas; al graficar los valores de velocidad de rotación, expresados en revoluciones por minuto (RPM), contra las lecturas registradas con el adaptador UL del viscosímetro Brookfield, expresadas como porcentaje, se observa que al inicio del proceso de formación del yogurt, el producto mantuvo las características de la leche de chocho (Figura N° 1); los valores del esfuerzo de cizalla (τ), variaron en forma directamente proporcional a la velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$) (Cuadro N° 1), mostrando un comportamiento newtoniano.

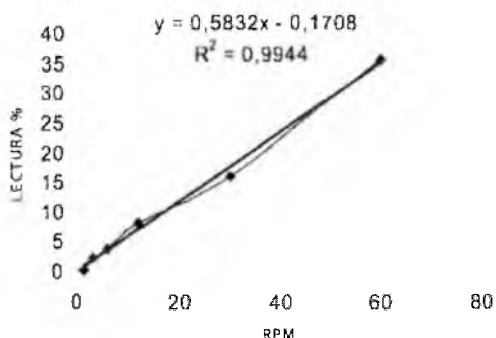


Figura N° 1. Cambio en la lectura del torque a diferentes velocidades de rotación, en leche de chocho.

Los valores de viscosidad de la leche de chocho registrados, son más altos que los correspondientes a la leche de vaca, (0,0017 Pa.s), debido al efecto de la proteína hidrolizada, la sacarosa y el estabilizante añadidos, los cuales modifican las propiedades reológicas de las fases continuas (Thebaudin y col., 1997). En consecuencia se requeriría mayor energía de activación para iniciar el flujo en leche de chocho que en leche de vaca.

Conforme avanza la fermentación se apreciaron cambios en la consistencia, el producto se tornó espeso y al final de 3.5 horas de proceso, se requirió utilizar el rotor LV2, que corresponde a la geometría de cilindro simple, registrándose disminución de la viscosidad aparente a medida que la velocidad de cizalla se incrementa.

Cuadro N° 1. Parámetros reológicos de la leche de chocho a 20°C

Velocidad de rotación (rpm)	FS (%)	τ (Pa)	$\dot{\gamma}$ (1/s)	μ (Pa.s)
0,3				
0,6				
1,5	0	0,000	1,839	0
3	2,1	0,015	3,377	0,0042
6	3,5	0,026	7,355	0,0035
12	7,9	0,058	14,710	0,0039
30	15,68	0,115	36,774	0,0031
60	35,4	0,260	73,548	0,0035

Viscosidad Aparente

La viscosidad aparente es la resistencia de un líquido a fluir o deformarse, para el yogurt de chocho, este parámetro disminuyó a medida que se incrementó la velocidad del rotor, probablemente debido al rompimiento de la red encargada de mantener la estructura del gel (Figura N° 2). El modelo de la ley de potencia para fluidos pseudoplásticos se considera adecuado para describir el flujo del yogurt al final de su elaboración.

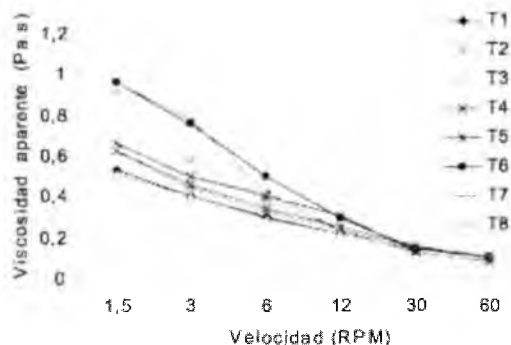


Figura N° 2. Efecto de diversos tratamientos sobre la viscosidad aparente del yogurt de chocho, a diferentes velocidades de rotación.

La mayor viscosidad aparente de los tratamientos T6 y T8, a bajas velocidad de rotación (1,5 y 3 rpm), con respecto a los tratamientos T3, T1 y T7, está influenciada por el contenido de sólidos solubles (18 °Brix), debido a la adición de sacarosa; sin embargo conforme aumenta la velocidad de rotación, disminuyen las diferencias debidas a este factor.

Índice de comportamiento al flujo (n)

Los valores de índice de comportamiento al flujo aplicados a los alimentos en su período de consumo, constituyen la "huella digital reológica" para especificar la identidad de un alimento, lo cual es útil para diferenciar un alimento de otro en el mercado mundial.

Para el cálculo de este índice, se utilizó la ecuación sugerida por Alvarado (1996), la misma que relaciona el logaritmo $4\pi N/60$ con el logaritmo de la viscosidad aparente. A partir de esta relación, se obtuvieron ecuaciones de regresión para cada uno de los tratamientos, de cuya pendiente sumada la unidad, se obtuvo el índice de comportamiento al flujo (n). Los coeficientes de correlación (R^2) obtenidos fluctuaron entre 0,92-0,99; validando así el modelo de regresión aplicado.

Para el yogurt de chocho, procesado con diferentes concentraciones de proteína hidrolizada, inóculo y sólidos solubles, el valor de n obtenido fue menor que la unidad (0,29-0,55), corroborando su comportamiento pseudoplástico.

P2. PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA, REOLOGÍA Y TRANSPORTE

Cuadro N° 2. Índice de comportamiento al flujo, en yogurt de chocho, preparado con diferentes dosificaciones de ingredientes

Tratamientos	ECUACION $\log u_a = (n-1) \log 4\pi N + \log K$	R ²	Índice de Comportamiento (n)
T1	-0,4542 * log (4πN) - 0,4882	0,9986	0,5458
T2	-0,648 * log (4πN) - 0,3655	0,9978	0,352
T3	-0,4451 * log (4πN) - 0,4979	0,9974	0,5549
T4	-0,5672 * log (4πN) - 0,3852	0,9230	0,4328
T5	-0,461 * log (4πN) - 0,4257	0,9987	0,539
T6	-0,6566 * log (4πN) - 0,2882	0,9890	0,3434
T7	-0,4738 * log (4πN) - 0,4437	0,9982	0,5262
T8	-0,711 * log (4πN) - 0,3236	0,9894	0,289

Para los tratamientos T2, T6 y T8, que incluyeron la adición de proteína hidrolizada al 0,5 % e inóculo al 2,5 %, se obtuvieron índices de comportamiento igual a 0,35; 0,34 y 0,29, respectivamente; valores similares a los reportados por Alvarado (1996), para el yogurt de leche de vaca. En contraste, el mayor valor de *n* y por tanto una mayor desviación del testigo comercial, se registró para los tratamientos T1 y T3, en los se incorporó una menor concentración (0,2 %) de proteína hidrolizada (0,2 %) y mayor concentración de inóculo (3 %).

Índice de consistencia (k)

El yogurt de chocho presentó valores de índice de consistencia (k) comprendidos entre 0,32-0,52 Pa.sⁿ, valores más bajos con relación a su homólogo, obtenido a partir de leche de vaca (0,6 Pa.sⁿ), evidenciando la consistencia normal del producto. Los tratamientos que alcanzaron un mayor índice de consistencia fueron el T2, T6 y T8, con valores promedio de 0,51; 0,47 y 0,43, respectivamente. Estos tratamientos en común incluyeron una concentración inicial de sólidos solubles igual a 18 ° Brix, poniendo de manifiesto la influencia de este factor en la consistencia del producto.

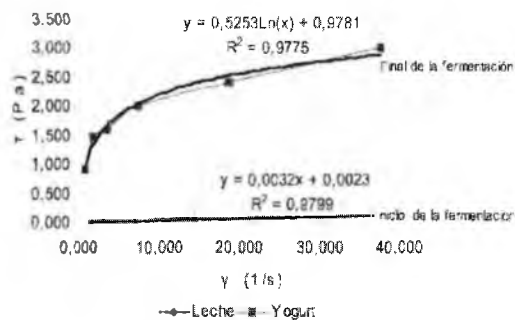


Figura N° 2. Curvas de flujo obtenidas en yogurt de chocho a 20°C.

El proceso de elaboración del yogurt, produce marcados cambios en los parámetros reológicos, ya que comienza como un fluido newtoniano, la leche, y termina en un fluido pseudoplástico (Figura N° 2), en consecuencia los índices calculados pueden ser utilizados en el control de calidad del producto, evaluación sensorial y aplicaciones de ingeniería relacionadas con su procesamiento y manejo.

Viscosidad real

Los datos de viscosidad real para el yogurt de chocho, se cifraron entre 0,3 - 0,4 Pa.s, valores menores a los reportados por Alvarado (1996), para el yogurt de leche de vaca (0,55-0,6 Pa.s).

Composición química

La Norma Ecuatoriana INEN 710, establece como requerimiento mínimo de proteína para el yogurt, un 3%; el yogurt de chocho presenta un mayor aporte de este nutriente alcanzando un valor de 5,79 % en el tratamiento T4.

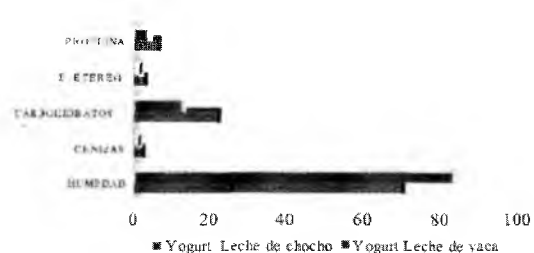


Figura N° 3. Composición proximal comparativa entre el yogurt de chocho y el de leche de vaca

En la proteína del yogurt vegetal, predominaron los aminoácidos arginina, leucina, fenilalanina, isoleucina, valina, ácido glutámico, serina, treonina y ácido aspártico.

Los valores de grasa para el producto obtenido a partir del chocho están comprendidos entre 2,2-2,3%, niveles que se enmarcan dentro del rango establecido por el INEN para yogurts tipo II, los cuales deben presentar un contenido máximo de grasa igual al 2 %, nivel beneficioso para personas con restricción en el consumo de este nutriente. En cuanto al contenido de cenizas, valor indicativo del contenido de minerales, el producto de chocho presentó una mayor concentración (1,67 %), posiblemente debido a los ingredientes añadidos en la formulación del producto. Entre los minerales sobresalieron el calcio (0,4%), el fósforo (0,4%), el potasio (0,48%) y el magnesio (0,05 %); mismos que son necesarios para diversas funciones, fisiológicas del organismo.

CONCLUSIONES

- El pH y la acidez determinaron el tiempo de fermentación del yogurt, alcanzando un valor promedio de 3,5 horas. Al final del proceso se registraron valores de 4.3 para el pH y 0,65 % para la acidez.

- En base al estudio de las propiedades reológicas, se concluye que éste es un fluido seudo plástico con un índice de comportamiento al flujo igual a 0,34 (tratamiento seleccionado); según este valor no se requerirían esfuerzos extremos y bombas de alta potencia para transportarlo por las tuberías de un pasteurizador, conllevando a una reducción del costo energético. El índice de consistencia ($k = 0,51 \text{ Pa.s}^n$) muestra que el yogurt de chocho es de textura normal, con una viscosidad real promedio de 0,35 Pa.s, lo que implicaría una baja adherencia del producto en las tuberías de transporte y el envase de almacenamiento.

- La incorporación de proteína hidrolizada, en la formulación del producto base para la fermentación, elevó el contenido de este nutriente en el producto final, a un nivel del 6% y concomitantemente el contenido de aminoácidos, hasta niveles superiores al yogurt de leche de vaca. El contenido de grasa (2.2%) resultó inferior al producto de origen animal, mientras que los minerales, especialmente calcio, fósforo y potasio se elevaron a una concentración de 0.40 mg/100 ml para los dos primeros elementos y 0,48 mg/100 ml para el potasio.

P2. PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA, REOLOGÍA Y TRANSPORTE

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, por las facilidades brindadas y a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT, por el financiamiento otorgado para el desarrollo de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, Juan de Dios, 1996, "Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos", Ambato-Ecuador, pp. 180.
2. Brookfield Engineering Labs "More solutions to sticky Problems", 1996, Germany, pp. 13, 25, 56.
3. Cameron, Fox, 1999, "Introducción a la Ciencia de los Alimentos" editorial Kapeluz, Honduras, pp. 87-103.
4. Durán, L.; Fiszman, S. y Benedito, C. 1991, Propiedades Mecánicas Empíricas. En: Métodos para medir propiedades físicas industriales de alimentos. Alvarado, J., y Aguilera, JM. Eds. Ed Acribia. Zaragoza, España. 2001. pp 153 y 154.
5. G.C.P., R.L.A., 1993, "Manual correspondiente al Módulo I, Tecnología y control de Calidad de Productos Lácteos", Equipo regional de Fomento y Capacitación en Lechería de FAO para América Latina, pp. 3.3-4
6. González, M, 2003, "Desarrollo de un sustituto lácteo para la alimentación de terneros" Proyecto de grado previa a la obtención del título de Economista en Gestión Empresarial", Colombia, pp. 78-85.
7. Gross, Rainer, 1982 "El cultivo y la utilización del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, pp. 152, 154-158.
8. Hohanssen, 1986. The influence of Food Protein Functionality. *J. Inst. Can. Sc. Technol. Alimen.* Pp. 169-193
9. Lara, K. 1999 Estudio de alternativas para el desamargado de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). Tesis en Doctorado en Química, Riobamba-Ecuador, Escuela superior politécnica de Chimborazo, pp. 23.
10. Parnell - Clunies, E.M.; Kakuda, Y. and Deman, J. 1986. Influence of heat treatment of milk on the flow properties of yogurt. *J. Food Sci.*, 51:1459-1462.
11. Peralta, Eduardo, Mazón, Nelson, 1998, "Catálogo del Banco de Germoplasma de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) y otras especies de lupinus, INIAP, Ecuador, pp. 1,2.
12. Rivero, M y colab, 2003 "Nuevo Manual de Dietética y Nutrición" ediciones Mundí-Prensa Madrid, España, pp. 13-38.
13. Rodríguez, D, Ruiz, F, 1998 "Producto dietético tipo yogur a partir de clara de huevo, leche de vaca y soya (*Glycine max*)" Tesis previa a la obtención de Ingeniero en Alimentos otorgado por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato-Ecuador, pp. 5.
14. Tamine, A. Y., 1991, "Yogur, Ciencia y Tecnología", editorial Acribia, S.A. Zaragoza, pp.22, 25, 44-52, 61
15. Villacrés, Elena, Ruales, Jenny, 2001 "Obtención y caracterización físico-química y funcional de un hidrolizado enzimático de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet)", pp. 5, 6, 64-80.
16. Wilbey, R.A, 2002, "Fabricación de queso" editorial Acribia, S.A. Zaragoza, segunda edición pp. 55, 110-120.