

## EL TRATAMIENTO DE LAS VINAZAS – LA RECIRCULACIÓN

### TREATMENT OF VINASSES - RECIRCULATION

*German Andrés Castro<sup>1</sup>*

#### RESUMEN

El objetivo de este pequeño repaso es dar un vistazo general a los tratamientos que se le han venido dando a las vinazas, residuo de la fermentación alcohólica, así como nombrar algunas de sus ventajas y desventajas, para luego presentar la recirculación, como una de las mejores opciones desde el punto de vista económico y de fácil implementación, para quienes no están interesados en subproductos alternos al etanol.

**Palabras clave:** vinazas, recirculación, fermentación etanólica.

#### ABSTRACT

*The purpose of this minireview is to give an overview of treatments that have been applied on the vinasse, residue from the alcoholic fermentation; appoint some of its advantages and disadvantages, and then submit recirculation, as one of the best options from an economic point of view and easy implementation, for those who are not interested in the ethanol byproducts.*

**Key words:** vinasse, recirculation, ethanolic fermentation.

*Aceptado: abril 17 de 2009*

*Aprobado: mayo 26 de 2009*

#### INTRODUCCION

Cualquiera que sea la fuente de azúcares para la fermentación, los procesos tienen en común la elevada producción de efluentes líquidos de la destilación, denominados, en este caso particular, vinazas. Durán de Bazua en 1993 definió la vinaza como “una disolución de sustancias y sales minerales y orgánicas con valor relativo y con potencial para diversos usos”, en virtud de su elevada carga orgánica (6.5–7.6%), CaO (4.57%) y K<sub>2</sub>O (1.06-1.53%) [10], entre otras sustancias. En el proceso convencional de producción de alcohol, la producción de vinaza oscila entre 13 y 15 l/l etanol, lo cual hace que si se requieren aproximadamente

---

<sup>1</sup> MSc Ingeniería Química. UNAL. Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería. UNAD.  
E-mail:germancastro14@gmail.com.

2 millones de litros de etanol/día, según el Programa de Alcohol Carburante, la cantidad del efluente por día podría ascender a 30 millones de litros, volumen que llenaría poco más de once piscinas olímpicas.

### **Alternativas**

Se han desarrollado diversos procesos para el tratamiento de las vinazas, entre los cuales podemos mencionar, el abono en el cultivo de la caña de azúcar, procedimiento que a pesar de ser viable técnica y económicamente, debe ser monitoreado con cuidado, considerando los tipos de suelo, la época de aplicación, la dosis y la mezcla con otros fertilizantes. Excesos de vinaza han demostrado que causan cambios en la maduración y contenido de sacarosa en cultivos de caña, así como leves alteraciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo (PH, fósforo intercambiable y capacidad de intercambio catiónico), después de doce meses de aplicación [11].

Los tratamientos anaerobios han sido trabajados en Cuba, México y Brasil por investigadores como Valderrama en 1990, Santiesteban en 1987, Rocha en 1990, Huss en 1990, Oliverio en 1991, Minaz en 1995, Valdés en 1993 y Agrawal en 1997, [17]. Estos afirman que este proceso tiene algunas ventajas, entre las que se podría mencionar, la reducción de olores en la utilización de los desechos. El biogás producido puede satisfacer entre el 30 y 45 % de la demanda energética de la destilería, bajos requerimientos de área, bajo consumo de energía, baja producción de lodo y el uso del reactor UASB (reactor de flujo ascendente con lechos de lodo) de fácil construcción, operación y eficiencia. En Colombia, en la Universidad Nacional, se han realizado varios trabajos como el de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Bucaramanga e investigaciones como las de Mena en el 2000 [19] y Villa en el 2002 [26], ambas con reactores SCFBR. A pesar del gran potencial de estos procesos junior en 1996, se presentaron algunas limitaciones, entre ellas, la necesidad de inoculación en el inicio, sensibilidad marcada en el proceso a la presencia de compuestos tóxicos, necesidad de un control estricto sobre las condiciones ambientales y de proceso como PH y composición de gas y remoción parcial de la carga orgánica, por lo que se requirieron tratamientos terciarios o cuaternarios posteriores. Plazas en 1987 y Pérez en 1988[22], ambos en la Universidad Nacional, utilizaron filtros anaeróbicos como una opción para el tratamiento de las vinazas.

Los reactores biológicos rotatorios también han sido bastante trabajados en el tratamiento de aguas residuales de industrias alimentarias y de destilación de alcohol, principalmente en países desarrollados. Entre sus ventajas están el bajo requerimiento energético, el soportar cambios drásticos en la alimentación y permitir la ampliación de su capacidad por su trabajo en unidades en serie; como desventaja se tiene que remueve parcialmente la DQO. Los estudios de Zamudio y Pompa en 1993, lograron una remoción del 50%.

Otra opción es la concentración-incineración para, finalmente, utilizar las cenizas como fertilizante. Este procedimiento presenta el problema de ser muy costoso por la energía involucrada en la evaporación, aunque se han desarrollado tecnologías para hacerlo más económico. Un ejemplo se da en Finlandia donde utilizan películas poliméricas como

superficies de transferencia de calor [24]. Ávila en la Universidad Nacional en 1993 [1] desarrolló un procedimiento para la obtención de un fertilizante por calcinación.

Las lagunas de estabilización se utilizan también, ya que permiten la sedimentación, digestión, estabilización aeróbica y anaeróbica, fotosíntesis y floculación biológica a una baja inversión; además, es un proceso autorregulado y soporta altas concentraciones de materia orgánica. Sin embargo, estas ventajas se convierten en desventajas en el funcionamiento del sistema, cuando se desconocen o no se aplican las normas para mantenimiento y limpieza de las lagunas; otro inconveniente es la producción de malos olores y el no control de la calidad del efluente del sistema. Adicionalmente, este procedimiento requiere de extensas áreas para su implementación.

El producto resultante de la fabricación de levadura y/o proteína unicelular por tratamiento aerobio de la vinaza [17] se usa en algunas ocasiones como materia prima en la elaboración de concentrados para animales, proceso que es factible económicamente cuando se desarrolla en la misma destilería, lo cual no es frecuente; de este proceso resulta un desecho usado como fertilizante,

Una alternativa efectiva en la disminución del porcentaje de humedad en las pastas crudas de cemento, es la utilización de aditivos denominados fluidizantes, los cuales permiten alcanzar la fluidez necesaria para su transporte con un menor contenido de agua; el empleo de estos aditivos es rentable solamente si la economía lograda en el consumo de combustible (para evaporar menos agua) es superior al gasto de compra y transporte del fluidizante. Damas en 1985 hizo pruebas con vinaza y obtuvo buena fluidez con un 34% de humedad en la pasta (6% menos de lo convencional); además, incorporó sólidos en el horno, lo que posibilitó una disminución en el consumo de combustible [6].

La eliminación de color y materia orgánica usando bacterias por dos meses y el uso de agentes oxidantes como peróxido de hidrógeno (al 1.2%) permiten la reducción de color entre 68 y 98% para un PH entre 7 y 10; también se logra una disminución en la DQO hasta del 85% [5].

Con excepción de su uso como fertilizante, todos los procesos requieren de mayor o menor grado de infraestructura; es decir, una inversión adicional, que no están dispuestos a realizar muchos inconscientes del problema, a pesar de que en muchos casos los subproductos generados retribuyen tal inversión. Afortunadamente, las normas en la mayoría de países son claras y solo se expiden las Licencias Ambientales cuando se garantiza un vertimiento de desechos regulado; claro está que en Latinoamérica hace falta ejercer controles más estrictos y establecer niveles permitidos de contaminación de los efluentes más bajos.

### **La Recirculación**

Otra opción interesante es la recirculación de la vinaza a la etapa de fermentación, ya que presenta grandes ventajas, como [18], [2], [7]:

- Disminución en los costos de producción del etanol, al reducir el consumo de agua en la fábrica.
- Dependiendo del porcentaje recirculado.
- Menor consumo de vapor en la destilación; 15% menos, aproximadamente.
- La carga contaminante en l de vinaza /l de etanol puede llegar a valores inferiores a uno.
- Permite la recirculación de las levaduras a la fermentación, bajando su consumo.
- El efluente final se usa como suplemento en concentrados para animales.
- Se elimina en algunos casos la necesidad de melaza de otros proveedores.
- Baja inversión adicional.

Los trabajos acerca de la recirculación han girado en torno a la determinación del porcentaje de recirculación y al número de veces que se puede reciclar; esto, sin disminuir significativamente el rendimiento de alcohol. También es importante el ahorro que se logra en el consumo de agua, de levadura y de sustrato, así como la aplicación o no de un tratamiento sobre la vinaza, previo a la recirculación, ya que la presencia de ciertas sustancias, principalmente ácidos grasos, inhibe el metabolismo de las levaduras en la fermentación.

A continuación se resumen los trabajos realizados en torno a la recirculación de vinazas:

En 1985, Egg y colaboradores separaron la vinaza en ligeros y sólidos; los primeros fueron reciclados aumentando significativamente el contenido de sólidos, sin afectar la producción de etanol, siempre y cuando no se sobrepasara de cierto número de ciclos [8].

En 1996, Shojaosadati y colaboradores investigaron la recirculación de biomasa antes de la destilación y de la vinaza; posterior a esta, el reciclaje se realizó en la etapa de fermentación [25].

En 1997 y 1999, Kim y colaboradores plantearon sistemas de reciclaje de las vinazas, con un tratamiento previo de ultrafiltración, usando una membrana cerámica. Chang, en 1994, también planteó el tratamiento de las vinazas utilizando membranas cerámicas [14].

En 1997, Larson, y colaboradores propusieron un sistema de evaporación de la vinaza por etapas y la caracterización de cada fracción, encontrando que las fracciones ligeras recirculadas no perjudicaban la fermentación posterior, a diferencia de las pesadas que si lo hacían [16].

En Tailandia, Phisalaphong en 1998 recicló las vinazas en la fermentación alcohólica con tres levaduras diferentes y estableció un porcentaje adecuado de reciclaje en cada caso [23].

En 1999, Yeoh, y colaboradores realizaron un trabajo desde el nivel de laboratorio hasta el industrial, con reciclaje a las etapas de preparación de la levadura, dilución de las melazas y fermentación [27].

Un trabajo de gran interés es el de Navarro y colaboradores en el 2000. Ellos llevaron a cabo

una concentración de las vinazas por medio del reciclaje, a lo que llamaron bioconcentración, y establecieron una concentración de sólidos límite para evitar la inhibición [21]. En Suecia se desarrolló el proceso Biostil, que opera en continuo y que gracias a la levadura que utiliza, soporta elevadas concentraciones de sólidos, requiriendo de menos agua; por ende, se genera menos vinaza y más concentrada[17].

El resumen de los resultados se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Características de los procesos de recirculación de vinazas

Autor	Tratamiento previo	% recirculación	Número de reciclos	Observaciones
Shojaosadati (1996) [25]	No	50	<10	Con el reciclaje de biomasa se aumentó el rendimiento de alcohol de 2-7%. Reducción en el consumo de agua de 33.3%, de sustrato de 6% y de producción de afluentes de 32-33%
Kim (1997-1999) [15]	Ultrafiltración con membrana cerámica	100	8	El rendimiento de alcohol se redujo de 9% sin reciclo a 8.8%; el tiempo de fermentación aumentó de 60 a 70-80 h.
Yeoh (1999) [27]	No	40	2-3 (escala lab. y p.p.) >3 (escala industrial)	Se observó un aumento en el rendimiento del proceso al pasar a la escala industrial. La recirculación debe hacerse a la fermentación y a la dilución de las molasas. Los rendimientos alcanzados son de 263 L alcohol / Ton molasa (lab) y de 222.79 L/Ton(Indust)
Navarro (2000) [21]	No	60	0	Ahorro del 66% de nutrientes, 46.2% de agua fresca y 50% de ácido sulfúrico, con aumento de la eficiencia del proceso.
Phisalaphong (1998) [23]	No	30	0	Para las tres levaduras se vio un notable descenso (entre el 50 y 70%) en la biomasa y en la producción de etanol
Egg (1985) [8]	No	50-70	3-5	La vinaza se separó en dos fracciones: una vinaza ligera y los sólidos húmedos. La primera se recirculó en pruebas de banco e industrial. Se evidenció un brusco aumento de los sólidos en el caldo de fermentación con el reciclo.

Se observa una notable mejoría del proceso al aplicar tratamientos previos a la recirculación, ya que la acumulación de inhibidores en la vinaza, puede afectar el desempeño de la levadura [4], [12], [18]. Dentro de los tratamientos que pueden aplicarse, están la cromatografía de intercambio iónico, utilizada por García en Cuba en 1998 [9] y la electrodiálisis utilizada por Cheryan en 1995 [3].

Es importante plantear otras posibilidades de tratamiento sobre este efluente antes de la recirculación, ya que los datos muestran las bondades en cuanto a disminución en el consumo de agua, energía, levadura y biomasa [13] aplicando este tipo de procedimientos.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AVILA ROZO, Oscar Jaime Aplicación de las vinazas para la obtención de un fertilizante por calcinación, tesis de grado Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, 1993.
- [2] AGRAWAL P. K. y KUMAR, S. 1997. "Los subproductos de la destilería como fuentes de energía". *International Sugar Journal*, Volume XCIX, No 1180.
- [3] CHERYAN, M; PAREKH, S; Separation of glycerol and organic acids in model ethanol stillage by electro dialysis and precipitation; *Process Biochemistry*, Vol. 30, Issue 1, 1995, pg. 17-23
- [4] CASTRO, G. Reducción del volumen de vinazas de la producción de alcohol, por recirculación a la fermentación, TESIS DE Maestría Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [5] DHAMANKAR, V. S; ZENDE, N. A y HAPASE, D. G. 1993. "A method for colour removal from vinasse ". *International Sugar Journal*, No 1131.
- [6] DAMAS, S. Consideración para la disminución del consumo de energía de un horno rotatorio de cemento, trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Química, UCLV, 1985.
- [7] DURÁN DE BAZÚA, C. 1993. "Tratamiento biológico de aguas residuales de la Industria de proceso". Facultad de Química. Ciudad Universitaria, 127 pags, México, D.F.
- [8] EGG, R; SWEETEN, J; COBLE, C; Grain Sorghum Stillage Recycling: Effect on Ethanol Yield and Stillage Quality; *Biotechnology and Bioengineering*, Vol XXVII, pg. 1735 – 1738, 1985.
- [9] GARCIA, G; Separación de ácidos orgánicos de vinazas por cromatografía de intercambio iónico; revista "sobre los derivados de la caña de azúcar " Vol. XXXII N° 3 pg. 42-48 / 1998.
- [10] GEPLACEA/PNUD/ICIDCA. 1990. "Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar". 2da Edición. Colección GEPLACEA. México, D.F
- [11] GEPLACEA/PNUD. 1991. "La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar". 2da edición. Colección GEPLACEA. Serie Diversificación. México, D.F.
- [12] HUNKOVA, Z; FENEL, A; Toxic Effect of fatty acids on yeast cells: possible mechanism of action; *Biotechnology and Bioengineering*, Vol 20, 1978, pg. 1235-1247.
- [13] HUSS, L. Y GARCÍA, F. P. 1990. "Treatment of waste water from molasses processing industries and sugar factories". *International Sugar Journal*, No 1095.

- [14] KERTEST, A; KING, C; Extraction Chemistry of fermentation product carboxylic acids; *Biotechnology and Bioengineering*, Vol 28, 1986, pg. 269-282.
- [15] KIM, J; KIM, B; LEE, Ch; KIM, S; JEE, H; KOH, J; FANE, A; Development of clean technology in alcohol fermentation industry; *Journal of Cleaner Production*, Vol. 5, N° 4, pg. 263-267, 1997.
- [16] LARSON, M; GALBE, M; ZACCHI, G; Recirculation of process water in the production of ethanol from softwood; *Bioresource Technology* 60, 1997, pg. 143-151.
- [17] LÓPEZ, G.L. Alternativas para el tratamiento del residual de la destilería Paraíso, tesis presentada para la opción de grado de máster EN Análisis de Procesos en la Industria Química, UCLV, 1999.
- [18] MAIORELLA, B; BLANCH, H; WILKE, C; Feed and component inhibition in ethanol fermentation; *Biotechnology and Bioengineering* Vol26 Issue 10 Nov. 84 pg. 1155 – 1166.
- [19] MENA, J.; Tratamiento anaerobio de vinazas en un reactor SCFBR, tesis de grado Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, 2000.
- [20] MINAZ. "Tratamiento de los desechos de las fábricas de producción de alcohol a partir de mieles de caña de azúcar mediante la recuperación de levadura *Saccharomyces* y la producción de biogás". Ciudad de la Habana, 1995.
- [21] NAVARRO, A.; SEPÚLVEDA, M; RUBIO, M.; Bio-concentration of vinasse from alcoholic fermentation of sugar cane molasses; *Waste Management*, Vol. 20 pg. 581 – 585, 2000.
- [22] PEREZ. M. Tratamiento biológico de vinazas utilizando filtros anaeróbico, tesis de grado Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, 1998.
- [23] PHISALAPHONG, M; KINGKAEW, J; Re-Use of Stillage in the Alcohol Production Process; Department of Chemical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand, 1998.
- [24] SCHMIDT, L. R. Y P. P. "Low cost evaporation technology for recovery of process water and solids". *International Sugar Journal*, Volumen XCVII, No 1162, 1995.
- [25] SHOJAOSADATI, S; SANAELI, H; FATEMI, S. The use of biomass and stillage recycle in conventional ethanol fermentation; *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* Vol 67 Issue 4 pg. 362 – 366. Dic. 1996.
- [26] VILLA, A.C., Estudio de la remoción de la carga orgánica en un reactor SCFBR para el tratamiento anaeróbico, tesis de grado Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, 2002.

[27] YEOH, B; CHEN, S; AZIZ, A; NEE, T; CHONG, T; VAN DE GRAFF, R; SUTERS, H; Cleaner Production in Distillery Industry – The Malaysia Experience; [www. aprcp.org/ articles/papers/yeoh.htm](http://www.aprcp.org/articles/papers/yeoh.htm), 2003.

## DISEÑO DE UN MODELO EXPERIMENTAL PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS GRASAS INSATURADAS EN LA ELABORACIÓN DE EMULSIONES CÁRNICAS

### DESIGN OF AN EXPERIMENTAL MODEL TO STUDY THE BEHAVIOR OF UNSATURATED FATS IN THE PREPARATION OF MEAT EMULSIONS

*Javier F. Rey R,<sup>1</sup> Alba Doris Torres<sup>2</sup>*

#### RESUMEN

La esencia de un buen planteamiento experimental consiste en proyectar un experimento capaz de suministrar el tipo de información que se busca; así pues, mediante el desarrollo del presente trabajo, se pretende determinar la calidad de los productos cárnicos elaborados con grasas vegetales insaturadas, así como su rendimiento y, por ende, su costo respecto a los productos tradicionales. Se plantea, entonces, un diseño experimental mediante el control de variables, tales como, tipo de grasa, temperatura de utilización y tiempo de cutteado, teniendo en cuenta los fenómenos fisicoquímicos y bioquímicos que ocurren durante el proceso, iniciando el control con la composición de la carne y la grasa, como materias primas destinadas a este fin. En este diseño se utiliza un modelo estadístico de planeamiento factorial completo con tres variables y dos niveles para un número de quince ensayos con una réplica. y así, obtener la ecuación que dé solución al problema identificado para posibilitar, de esta manera, la utilización de las grasas insaturadas dentro de un proceso de elaboración de emulsiones cárnicas.

**Palabras clave:** grasas vegetales insaturadas, emulsiones, cutteado.

#### ABSTRACT

*The essence of a good experimental position consists on projecting an experiment so that him it is able to in fact give therefore the type of information that is looked for, by means of the development of the present work it is looked for to determine which the quality of the meat products will be elaborated with unsaturated vegetable fats, which its yield will be and for ende its cost regarding the traditional products, in and of itself the present investigation*

1 Especialista en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales. Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad de La Salle. E-mail: jrey@unisalle.edu.co.

2 Especialista en Ingeniería de Procesos en Alimentos y Biomateriales. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. E-mail: dorys.torres@gmail.com.

*outlines an experimental design by means of the control of such variables as type of fat, use temperature and time of cutteado, keeping in mind the physiochemical and biochemical phenomena that happen beginning the control from the composition of the meat and fat during the trial, as raw materials dedicated to this end, for he/she thought about it the experimental design using a statistical model of complete factorial planning with 3 variables and 2 levels for a number of 15 rehearsals with a replica. Identified the variables to control as type of fat, temperature of use of the fats and the time of cutteado, the outlined experimental design is applied and you ends up obtaining the equation that gives solution to the identified problem that facilitates to use the unsaturated fats inside a process of elaboration of meat emulsions.*

**Key words:** *unsaturated vegetable fats, emulsions, Cutter.*

*Aceptado: abril 27 de 2009*

*Aprobado: mayo 26 de 2009*

## INTRODUCCION

Los cárnicos procesados en la actualidad se caracterizan por estar elaborados con carne proveniente de cortes de mediana calidad (murillo, bota, cogote, entre otros), contener altos niveles de colesterol y utilizar como materia prima las grasas saturadas. Su alto consumo se ve reflejado en la salud de los consumidores, ya que deriva en problemas de orden cardiovascular. Los productos cárnicos emulsionados no escapan de esta problemática ya que son elaborados con materias primas de mediana calidad y un alto porcentaje de grasas saturadas. (Serrano y Cofrades, 2005). Las grasas insaturadas tienen compuestos que generan efectos positivos en la salud del ser humano, entre ellos, reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y disminución de las cantidades de colesterol en la sangre. . Estas grasas están compuestas por ácidos grasos funcionales, tales como, el aceite de oliva, aceite de canola y aceite de soya, entre otros. Este tipo de grasas permanece en estado líquido a temperaturas de 20-25 °C y puede solidificarse después de un proceso de hidrogenación, el cual genera una estructura trans en el ácido graso, compuesto que es perjudicial para la salud. (Duxbury, 2005).

En la industria de carnes, la mayoría de las emulsiones son de aceite en fase continua de agua (Ac/Ag), donde la mayor cantidad de componente es la fase líquida y, la menor, la fase dispersa. Entre ellos, encontramos los embutidos cárnicos emulsionados-escaldados (Ramírez, 2006). Las emulsiones son sistemas inestables en los que ocurren procesos de descreme, floculación y coalescencia, de los cuales resulta la separación de agua y grasa, siendo este uno de los principales problemas en la correcta elaboración y conservación de las emulsiones cárnicas, ya que se debe asegurar la estabilidad físico-química del producto durante el tiempo de vida útil del alimento (Lees, 1982).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en la planta piloto de carnes de la UNAD, mediante un diseño experimental, utilizando un modelo estadístico de planeamiento factorial completo

con 3 variables y 2 niveles para un número de 15 ensayos con una réplica. Este proyecto se trabajó a escala planta piloto. Como materias primas se utilizaron carne de segunda de bovino y aceite vegetal de soya.

### **Tratamiento Estadístico**

#### • *Variable dependiente*

La estabilidad de la emulsión, utilizando como materia prima, grasas insaturadas y carne de res. Esta se observa a temperatura de cocción, donde se pone a prueba la resistencia de las materias primas utilizadas.

#### • *Variables independientes*

*Tipo de grasa:* según revisión bibliográfica, las grasas insaturadas que tienen el mayor punto de fusión y pueden ser utilizadas en este proceso son: soya, canola y girasol; para los diferentes ensayos del diseño experimental se trabajó con porcentajes de entre 10% a 30% ya que un porcentaje mayor afectaría la estabilidad de la emulsión por exceso de grasa y las proteínas de la carne no la lograría retener.

*Temperatura de utilización de las grasas:* teóricamente esta temperatura debe estar en un valor de -4 a 7 °C; para los ensayos correspondientes se tomaron valores de 0 a 6 °C, teniendo presente que valores cercanos a 2°C son óptimos para que se rompa la emulsión.

*Tiempo de cutteado:* según la recopilación bibliográfica, este no debe superar los 25 minutos; para los ensayos correspondientes se tomaron valores de 6 a 18 minutos, pues valores cercanos a 12 minutos son óptimos para que se desarrolle la emulsión con las mejores características.

#### • *Variables intervinientes*

*La calidad de las materias primas:* tiene relación directa con la calidad de la emulsión ya que con carnes de mala calidad, la estabilidad de esta se vería afectada de forma negativa; en cuanto a las grasas estas no soportarían esfuerzos como los realizados en un cutter (Guerrero, 1998).

*Insumos utilizados:* además de la carne y la grasa para la elaboración de emulsiones cárnicas, intervienen otros insumos, entre ellos, los emulsificantes, que dan mayor estabilidad a la emulsión cárnica; en este caso se trabajó con la proteína proveniente del aislado de soya y el agua, la cual, gracias a su interacción con la proteína y la grasa, logra la estabilidad de la emulsión. Esta siempre debe estar en estado sólido, a temperaturas inferiores a los 0°C.

### **Formulación y descripción del proceso**

La formulación utilizada se describe en la tabla número 1, seguida de la descripción del proceso.

**Tabla 1.** Formulación utilizada para la elaboración de la emulsion

Ingredientes	Porcentaje
Carne magra de res	36 a 60 %
Carne magra de cerdo	10 – 12 %
Grasa dura de cerdo	15 a 20 %
Harina de trigo	5 a 10 %
Hielo en escarcha	
Sal cura	180 a 200 ppm
Sal común	1.5 a 4.8% sobre el peso de la pasta
Fosfatos embutidos	0.5 p/p máximo
Eritorbato o antioxidantes	0.05 % máximo

Fuente: Ramirez, 2006.

*Recepción y preparación de carne.* Tratamiento preliminar: se evalúa de forma sensorial y fisicoquímica.

*Recepción y preparación de la grasa insaturada.* Tratamiento preliminar: se evalúa de forma sensorial y fisicoquímica.

*Preparación de la carne.* Esta debe limpiarse de tejido conectivo y grasa de cobertura; luego cortarse en trozos en forma de cubos de 2 cm de lado, siempre trabajándola a temperaturas inferiores a 5°C.

*Preparación de la grasa.* Debe estar a una temperatura entre 4°C y 6°C, pura y libre de residuos, además de no haber sido utilizada con anterioridad en otro proceso.

*Estandarización.* En esta etapa se determinan las cantidades de carne de res, grasa, emulsionante y agua necesarios para la elaboración de la emulsión cárnica. Estas cantidades se obtienen a partir del tratamiento estadístico dado en el modelo experimental.

La base de cálculo de la formulación debe ser de 5 kg., ya que es la mínima cantidad necesaria para trabajar a escala planta piloto.

*Molido de la carne.* Se debe realizar en una picadora industrial de carne, utilizando un disco de diámetro 12 y luego pasar de nuevo por un disco de diámetro 5.

*Cutteado.* En esta operación se desarrolla la emulsión del producto, la cual depende, en gran medida, del tiempo de cutteado y del orden para agregar los productos en este equipo,

aprovechando primero la proteínas de la carne, luego la grasa, productos de relleno, condimentos y sabores y, por último, los resaltantes del sabor.

*Embutido.* Se realiza luego de emulsificado el producto. Se debe utilizar la embutidora manual para controlar la velocidad de embutido y tripa de fibrosa calibre 80 como empaque; gracias a su protección a temperaturas elevadas, se trabaja con embutidos de un peso aproximado de 500 g.

*Escaldado.* Este se realiza a una temperatura de 75°C. La temperatura interna a la que deben llegar los productos debe ser de 72°C.

*Secado.* Busca la eliminación del agua superficial del producto y, además, brinda sabor y semi maduración al producto. Puede realizarse a temperaturas de 40°C por 5 horas o a temperaturas ambiente por 24 horas.

### **Modelo estadístico**

Para efectuar un diseño factorial se especifican los niveles en que cada factor debe ser estudiado.

Diseño factorial 2<sup>n</sup>

Donde n = número de variables

2 = dos niveles por estudiar

• **Variables:** tipo de grasa, temperatura de utilización, tiempo de cutteado.

• **Niveles:** tipo de grasa (Grasa 1: Soya; Grasa 2: Canola; Grasa 3: Girasol)

-1 nivel inferior 1

+1 nivel superior 2

0 nivel intermedio (punto central) 3

Temperatura de utilización de la grasa en el cutter

-1 nivel inferior 0°C

+1 nivel superior 4°C

0 nivel intermedio (punto central) 2°C

Tiempo de cutteado

-1 nivel inferior 6 min.

+1 nivel superior 12 min.

0 nivel intermedio (punto central) 18min.

• **Variables independientes:**

X1 = Tipo de grasa

X2 = Temperatura de utilización de la grasa en el cutter

X3 = Tiempo de cutteado

2 niveles = - 1 a + 1

Para efectuar el diseño  $2^3$  se realizaron los ensayos correspondientes y se registraron las respuestas observadas en todas las posibles combinaciones, teniendo en cuenta los niveles escogidos; igualmente, con los rendimientos obtenidos en los experimentos, teniendo como base la tabla matriz de diseño y los datos obtenidos de cada ensayo en una tabla de resultados. (Ruiz, 1986)

En el primer paso se diseñó una matriz de un planeamiento factorial  $2^3$ , tal como se puede observar en la tabla 2.

**Tabla 2.** matriz factorial  $2^3$

ENSAYOS	X1	X2	X3
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	-1.68	0	0
10	+1.68	0	0
11	0	-1.68	0
12	0	+1.68	0
13	0	0	-1.68
14	0	0	+1.68
15	0	0	0

Fuente: los autores

Para encontrar los valores de la matriz se creó la tabla 3, la cual contiene las variables codificadas.

**Tabla 3.** variables codificadas de la matriz

ENSAYO	TIPO DE GRASA	$aT$	TIEMPO DE CUTTEADO
	X1	X2	X3
1	Soya	0°C	6 min.
2	Canola	0°C	6 min.
3	Soya	4°C	6 min
4	Canola	4°C	6 min

5	Soya	0°C	18 min.
6	Canola	0°C	18 min.
7	Soya	4°C	18 min.
8	Canola	4°C	18 min.
9	Soya/Canola	2°C	12 min.
10	Canola/Girasol	2°C	12 min.
11	Girasol	0.32°C	12 min.
12	Girasol	3.68°C	12 min.
13	Girasol	2°C	2,34 min
14	Girasol	2°C	14.32 min.
15	Girasol	2°C	12 min.

Fuente: los autores

Si el modelo lineal fuese poco confiable, es decir  $R^2 < 80$ , se debe recurrir a un modelo cuadrático, mediante la adición de puntos axiales que formarán un modelo octogonal base de un círculo de radio Alfa ( $\alpha$ )  $\pm 1,68$ .

$$\text{Alfa } (\alpha) = (2N)^{1/4}$$

$$\text{Alfa } (\alpha) = (23)^{1/4}$$

$$\text{Alfa } (\alpha) = (8)^{1/4}$$

$$\text{Alfa } (\alpha) = \pm 1,68$$

Para tres variables

A los resultados obtenidos en los ensayos, se calcula: la desviación estándar, distribución de probabilidad y límites de confianza con un valor Alfa ( $\alpha$ ) = 0.95 nivel de confianza.

Los valores obtenidos son la herramienta que permite analizar su validez, mediante el método del algoritmo de Yates.

Estos resultados permiten realizar de manera más simplificada el análisis de varianza, como se ve a continuación:

$$2^{n-1} = 4$$

$$n^{2k-1} = 4(\text{efecto})^2 = 16$$

$$\text{Suma de cuadrados totales} = \sum y_i^2 - T \tag{1}$$

$$\text{Suma de cuadrados del error} = \sum y_i^2 - \sum T_i^2/n_i \tag{2}$$

$$\text{Media cuadrada del error} = 1/n \cdot \sum y_i^2 - \sum T_i^2/n_i \tag{3}$$

Se calcula la estimación de los factores (F) con el objetivo de identificar qué efectos son más significativos. (Tamayo, 2001).

El análisis de varianza se obtiene a partir de la suma de cuadrados mediante el algoritmo de Yates.

Si en el modelo estadístico el porcentaje de variación corresponde a  $R^2 = 0.99$  se puede afirmar que este es confiable en un nivel del 99%.

$$N = t_{y,xs}(\text{efecto}) \cdot n \cdot t_{y,xs}(\text{efecto}) \quad (4)$$

Solo se considera estadísticamente significativo con 95% de confianza, un efecto cuyo valor absoluto fuera superior a  $t_{y,xs}(\text{efecto}) = 2,306 \times 0,23 \% = 0,53 \%$ .

### CONCLUSIONES

Al ponderar el grado de confiabilidad del modelo mediante el valor  $R^2$ , se puede determinar el grado de exactitud con que es explicada la variación del 99%.

Al tener un nivel de confianza del 95%, permite descartar valores que son poco significativos.

Al realizar los ensayos propuestos según modelo estadístico de planeamiento factorial, se pueden interrelacionar todas y cada una de las variables intervinientes.

La bondad de utilizar un planeamiento factorial permite realizar los ensayos correspondientes de manera que se efectúen los que son más representativos.

El diseño factorial permite modificar todas las variables al mismo tiempo, identificando las más significativas.

Se espera que el producto cárnico elaborado bajo estas condiciones se encuentre dentro de los parámetros de calidad, según Normas establecidas.

Se estima que el modelo simplificado describa con alta confiabilidad la respuesta al diseño experimental al obtener un valor del 99%.

Se pretende llegar a aplicar la ecuación  $y(x_1, x_2, x_3) = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3 + B_{12}x_1x_2 + B_{13}x_1x_3 + B_{23}x_2x_3 + B_{123}x_1x_2x_3 + E(x_1, x_2, x_3)$ , que expresa la interrelación de las variables y los efectos propuestos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CEDRES y colaboradores. 2003. Composición química y características físicas de la carne de búfalo. La Industria Cárnica Latino Americana. No. 128.
- DUXBURY, D. 2005. Omega – 3s Offer solutions to trans fat substitution problems. Food Technology. V. 59. No 4.
- GUERRERO, I. 1998. Tecnología de carnes. Ed trillas.
- IFIC.org. mayo 2005. Alimentos Funcionales. Consultada en Septiembre de 2006
- LEES, R. 1982. Análisis de los alimentos. Métodos analíticos y de control de calidad. Ed. Acribia S.A.
- RAMIREZ, I. Tecnología de cárnicos. UNAD. Bogotá D.C. 2006.
- RUIZ, Luis . Instituto Nacional de Estadística. Métodos estadísticos de una investigación. Introducción al análisis de varianza. Maya Madrid. 1986.
- RODRIGUEZ, M. 2005. Diseño de experimentos en Alimentos. Ed. Unicamp. p 7-86; 153-160.
- SERRANO y COFRADES. 2005. Productos cárnicos más saludables en el ámbito actual de los alimentos funcionales. Alimentación Equipos y Tecnología. No. 200. Año 24.
- TAMAYO TAMAYO, Mario. El proceso de la investigación científica. Editorial Limusa. Mexico. 2001.