

VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA ACIDEZ DE LA LECHE EN LA ELABORACIÓN DE QUESOS TIPO OAXACA (ESTUDIO DE CASO)

Juan Antonio Sillero Pérez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Celaya
antonio.sillero@itcelaya.edu.mx

Miguel Ángel Melchor Navarro

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Celaya
miguel.melchor@itcelaya.edu.mx

María Teresa Villalón Guzmán

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Celaya
teresa.villalon@itcelaya.edu.mx

Nancy Cano Gómez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Celaya
nancy.cano@itcelaya.edu.mx

Resumen

Uno de los principales problemas que se tienen en la elaboración del queso tipo Oaxaca, es determinar el nivel de acidez de la leche que se utiliza para su elaboración. Su importancia radica en que éste influye en el tiempo de cuajado de la leche y a su vez en la eficiencia de la producción y calidad del producto.

La propuesta presentada en este artículo tiene como finalidad apoyar a una microempresa a determinar los factores que influyen en la acidez de la leche. Las herramientas utilizadas para generar esta propuesta se basan en un análisis de regresión lineal múltiple y un diseño experimental. El propósito de este análisis es determinar el nivel óptimo de las variables que inciden en la acidez de la leche.

Palabra(s) Clave(s): Acidez de la leche, fabricación de queso, regresión lineal múltiple, diseño experimental.

Abstract

One of the main problems in the production of Oaxaca cheese is to determine the level of acidity of the milk used to make it. Its importance is that it influences the time of milk curdling and in turn in the efficiency of production and quality the product.

The proposal presented in this article aims to support to support a microenterprise to determine the factors that influence the acidity of milk. The tools used to generate this proposal are based on a multiple linear regression analysis and an experimental design. The purpose of this analysis is to determine the optimal level of the variables that affect milk acidity.

Keywords: *Acidity of milk, cheese making, multiple linear regression, experimental design.*

1. Introducción

La empresa en la cual se realizó este estudio es una microempresa dedicada a la producción de queso. Uno de los principales factores que influyen para producir un queso de calidad es controlar el nivel de acidez de la leche que se utiliza en su elaboración. En esta empresa, la forma actual de controlar la acidez de la leche se hace de acuerdo a la experiencia del trabajador y cada trabajador tiene una percepción muy particular de hacerlo. Aún y cuando se cuente con herramientas o dispositivos que ayudan a controlar el nivel de acidez, los trabajadores siempre la realizan a base de prueba y error.

El estudio se centra en identificar y analizar las variables que influyen en el nivel de acidez de la leche en la fabricación del queso tipo Oaxaca. Para ello, se utilizaron las siguientes herramientas estadísticas: las siete herramientas básicas, regresión lineal múltiple, diseño de experimentos y el uso del software Minitab V17.

El proceso para la elaboración del queso en esta empresa consta de varias etapas cada una de cuales se realiza en las áreas que se mencionan a continuación:

- **Recepción de la leche.** En esta área se encuentran los contenedores en donde se almacena la leche que se recibe de los proveedores. También es

aquí donde se encuentran las bombas que transfieren la leche a las tinas donde se lleva a cabo el proceso de extracción del queso.

- **Tinas.** Área en donde se lleva a cabo la mayor parte de los procesos que se necesitan para la producción del queso. Es en estas tinas en donde se agrega la cantidad de leche descremada o de cultivo para reducir o aumentar los niveles de acidez de la leche. También es aquí donde se cuaja la leche y trascurridas aproximadamente cuatro horas, se separa la leche que no cuajó y se almacena en contenedores para posteriormente venderse como alimento para ganado.
- **Fundición.** Aquí se cuenta con tinas de aproximadamente 200 litros en las cuales se distribuye la producción de queso, conteniendo cada una de ellas aproximadamente 120 kg. Una vez que el queso se funde en las tinas, se amasa hasta obtener la consistencia deseada.
- **Enfriamiento.** Por medio de agua fría se reduce la temperatura del queso hasta alcanzar una temperatura que permita su manipulación en forma manual.
- **Salado, corte y pesado.** En una mesa de aproximadamente dos por tres metros, es en donde se le agrega la sal al queso y se corta según el peso requerido (en kilogramos).
- **Empaquetado.** En esta área es en donde se empaqueta el queso para su distribución.

El área crítica en este proceso de producción es el área de tinas, pues es en donde se realiza el cuajado del queso y el tiempo que tarda en cuajar la leche depende del nivel de acidez de ésta. En esta área es en donde se realiza el estudio.

Considerando el proceso productivo y la experiencia de los trabajadores, las variables que se determinó podrían afectar el grado de acidez de la leche son:

- Variable de respuesta:
 - ✓ Porcentaje de acidez
- Variables independientes:

- ✓ Tiempo de cuajado
- ✓ Tiempo de cocido
- ✓ PH inicial
- ✓ Acidez Inicial
- ✓ Tiempo de llenado de la tina
- ✓ Tiempo de reposo
- ✓ Litros de cultivo
- ✓ Litros de leche descremada
- ✓ Acidez del cultivo

Con la información recabada del proceso y a fin de determinar la relación entre estas variables, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal múltiple haciendo uso del software Minitab. Los resultados de este análisis sirvieron como proceso de entrada para hacer un diseño experimental a través del cual se determinó el nivel al cual deben programarse las variables que afectan la acidez de la leche y, a su vez, determinan el nivel óptimo de acidez.

2. Método

Para realizar este estudio fue necesario analizar cada una de las etapas y en cada una de ellas obtener información requerida para la toma de decisiones.

Análisis de regresión múltiple

El estudio se realizó en el área de tinas, debido a que aquí es donde se lleva el proceso de cuajado del queso y el tiempo que tarda en cuajarse depende del nivel de acidez de la leche.

Después de revisar y analizar cuidadosamente el proceso y tomando en cuenta la opinión del personal, se considera que las variables que influyen en la acidez de la leche son: Tiempo de cuajado (min), Tiempo de cocido (min), PH inicial de la leche (escala de PH), Acidez inicial de la leche (en %), Tiempo de llenado de la tina (min), Tiempo de reposo (min), Litros de cultivo (litros), Litros de leche descremada (litros) y la Acidez del cultivo (%). Para llevar a cabo el análisis de

regresión lineal múltiple [Weisberg, 1985] fue necesario obtener información de estas variables, la cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Datos observados del proceso asociados a las variables bajo estudio.

n	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	Acidez de cultivo	Litros descremada	Litros de cultivo	Tiempo de reposo	T. llenado de la tina	Acidez inicial	PH Inicial	Tiempo de cocinado	Tiempo de cuajado	% de acidez final
1	78	320	20	5	30	17	6.54	50	39	21.0
2	75	270	20	5	30	17	6.56	70	10	19.0
3	75	280	30	5	20	17	6.54	90	22	19.0
4	75	270	50	5	85	17	6.55	95	20	22.0
5	65	350	20	3	23	16	6.02	94	12	19.0
6	65	350	80	3	28	15	6.00	60	15	18.0
7	70	270	20	16	12	17	6.10	48	15	20.0
8	70	270	0	8	25	20	5.80	64	11	22.0
9	70	260	40	7	20	16	6.54	90	21	18.0
10	75	160	30	5	15	15	6.25	85	19	17.0
11	75	280	30	5	25	15	6.55	70	15	17.0
12	70	300	0	9	30	18	6.26	70	17	20.0
13	70	240	40	8	20	16	6.45	80	20	18.0
14	70	170	0	6	15	19	6.05	65	13	19.0
15	75	150	30	5	18	16	6.10	68	14	18.0
16	75	240	30	5	25	16	6.30	75	18	18.0
17	75	240	30	5	30	15	6.35	80	23	18.5
18	70	300	0	9	23	17	6.50	90	22	20.0
19	70	150	40	8	21	15	6.40	85	21	18.0
20	75	240	50	5	22	16	6.25	80	19	19.0
21	70	240	0	7	30	15	6.55	80	18	18.5
22	65	160	20	4	27	14	6.60	90	20	17.0
23	75	240	30	5	29	15	6.65	90	23	18.0
24	70	270	0	8	25	17	6.50	75	17	19.0
25	70	275	0	7	24	16	6.55	85	20	19.0

La intención de hacer un análisis de regresión lineal múltiple es para determinar cuáles de las variables que inicialmente se consideraron afectan realmente la acidez de la leche. Los resultados de este análisis (realizado por el software Minitab) se muestran en la tabla 2.

En la tabla 2 se observa de la columna con título “Valor P” a excepción de tiempo de cocinado (cocido), litros de cultivo y acidez del cultivo, no afectan significativamente la acidez de la leche, mientras que las otras variables si lo afectan y lo hacen de manera significativa [Peña, D. (2001)].

Otro indicador importante en el análisis de regresión es el valor R^2 , éste indica el porcentaje de variabilidad del proceso que es explicada por el modelo [Maidonand, J. (s.f.)], en este caso es del 93.04%, lo que quiere decir que el modelo propuesto es bueno. El valor R^2 es mostrado al final de la tabla 2 en resumen del modelo.

Tabla 2 Hoja de resultados del análisis de regresión lineal múltiple.

Análisis de regresión: % de acidez vs. Tiempo de cu, Tiempo de co, PH Inicial,

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	9	41.0695	4.56328	22.29	0.000
Tiempo de cuajado	1	2.7675	2.76754	13.52	0.002
Tiempo de cocinado	1	0.1023	0.10229	0.50	0.490
PH Inicial	1	1.7756	1.77555	8.67	0.010
Acidez inicial	1	3.8235	3.82355	18.68	0.001
Tiempo llenado de la tina	1	8.1650	8.16498	39.89	0.000
Tiempo de reposo	1	1.6759	1.67591	8.19	0.012
Litros de cultivo	1	0.4051	0.40511	1.98	0.180
Litros de leche descremada	1	1.2879	1.28790	6.29	0.024
Acidez de cultivo	1	0.0657	0.06565	0.32	0.580
Error	15	3.0705	0.20470		
Total	24	44.1400			

conclusion:

H0: B1=B2=B3=B4=B5=B6=B7=B8=B9=0
H1: Bj diferente de 0

Para nuestra regresion nuestro valor de F0 = 22.29
Contra el valor de F0.05,9,15= 2.59

Como nuestro valor de F0 es mayor al valor de F de tablas rechazamos H0 y decimos que si existe una relac significativa entre mis variables y el % de acidez almenos para un par de nuestras variables

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.452436	93.04%	88.87%	67.80%

También a través del análisis de regresión, se detectó otra información que es importante analizar y son las gráficas de los residuos (figura 1). La gráfica de probabilidad normal (encerrada en círculo azul) nos muestra que los datos se pueden ajustar a una distribución normal que es uno de los supuestos para este tipo de análisis [Experimentos, R. (s.f.)].

Del histograma (encerrado en un círculo rojo) se aprecia que los residuos son muy similares y esto nos indica que no existe gran variación en los datos utilizados en el análisis. De la gráfica de ajustes (encerrada en un círculo naranja) se observa que no hay puntos atípicos que afecten el modelo. De la gráfica de orden (encerrada en color amarillo) se observa el comportamiento y la variación de los datos.

Con el análisis de regresión básicamente se determinaron aquellas variables que afectan significativamente la acidez de la leche.

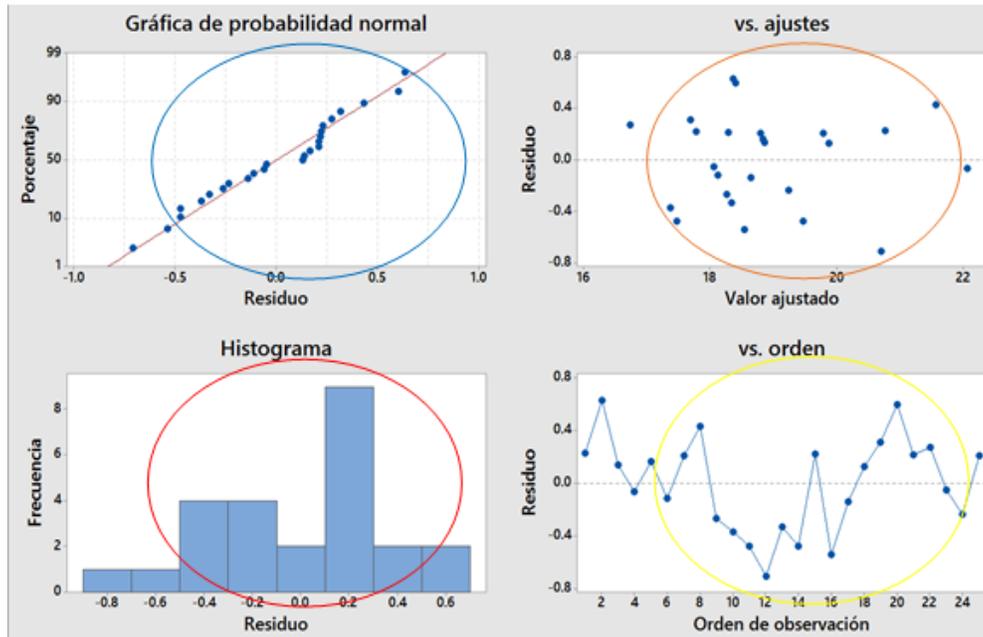


Figura 1 Gráficas de residuos del análisis de regresión lineal múltiple.

Diseño de Experimentos

El siguiente paso consiste en hacer un diseño experimental [Dean Angela, D. B. (2000)] para determinar el nivel al cuál deben participar cada una de las variables, de forma tal que produzcan el nivel óptimo de acidez de la leche y, en consecuencia, el óptimo en la producción de queso. Este diseño experimental se realizó utilizando el software Minitab y se consideraron tres factores [Hamada, M. 2000] cuyos niveles se indican entre paréntesis, siendo éstos:

- Litros de cultivo (0, 20 y 30)
- Tiempo de reposo en minutos (5 y 8)
- Litros de leche descremada (240, 270 y 300)

La razón de considerar estos factores es que son las variables que se pueden controlar en el proceso.

Se llevaron las hojas de registro de las diferentes corridas, un ejemplo de estas hojas es la mostrada en la tabla 3, en ellas se muestran las variables y sus niveles, la forma en que estas se combinan y el porcentaje de acidez que producen.

Tabla 3 Hoja de registro para el diseño de experimento.

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Litros Cultivo	Tiempo de Reposo	Litros descremada	% Acidez Final
1	22	1	1	1	0	8	240	18.5
2	19	2	1	1	0	5	240	18.5
3	11	3	1	1	20	8	270	19.0
4	10	4	1	1	20	8	240	20.0
5	32	5	1	1	30	5	270	19.0
6	8	6	1	1	20	5	270	19.0
7	14	7	1	1	30	5	270	20.0
8	23	8	1	1	0	8	270	22.0
9	24	9	1	1	0	8	300	20.0
10	17	10	1	1	30	8	270	18.0
11	43	11	1	1	20	5	240	18.5
12	20	12	1	1	0	5	270	19.0
13	36	13	1	1	30	8	300	17.0
14	52	14	1	1	30	8	240	18.0
15	5	15	1	1	0	8	270	21.0
16	12	16	1	1	20	8	300	21.0
17	44	17	1	1	20	5	270	20.0
18	16	18	1	1	30	8	240	18.5
19	25	19	1	1	20	5	240	19.0
20	42	20	1	1	0	8	300	20.0
21	29	21	1	1	20	8	270	19.5

Análisis del diseño experimental

De la tabla ANOVA del diseño de experimentos (tabla 4) en la columna “valor p”, se puede apreciar que todos los factores y sus interacciones son significativos [Peña, D. (2001)] con excepción de la interacción del tiempo de reposo y los litros de leche descremada.

Tabla 4 ANOVA del diseño de experimentos.

Análisis de Varianza				
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Modelo	17	45.9676	2.70398	11.68
Lineal	5	20.8009	4.16019	17.97
Litros Cultivo	2	12.3981	6.19907	26.78
Tiempo de Reposo	1	1.3380	1.33796	5.78
Litros descremada	2	7.0648	3.53241	15.26
Interacciones de 2 términos	8	15.2037	1.90046	8.21
Litros Cultivo*Tiempo de Reposo	2	8.3981	4.19907	18.14
Litros Cultivo*Litros descremada	4	6.6296	1.65741	7.16
Tiempo de Reposo*Litros descremada	2	0.1759	0.08796	0.38
Interacciones de 3 términos	4	9.9630	2.49074	10.76
Litros Cultivo*Tiempo de Reposo*Litros descremada	4	9.9630	2.49074	10.76
Error	36	8.3333	0.23148	
Total	53	54.3009		
Fuente				Valor p
Modelo				0.000
Lineal				0.000
Litros Cultivo				0.000
Tiempo de Reposo				0.021
Litros descremada				0.000
Interacciones de 2 términos				0.000
Litros Cultivo*Tiempo de Reposo				0.000
Litros Cultivo*Litros descremada				0.000
Tiempo de Reposo*Litros descremada				0.687
Interacciones de 3 términos				0.000
Litros Cultivo*Tiempo de Reposo*Litros descremada				0.000
Error				
Total				

Es importante mencionar que aún y cuando esta situación se presente, no se puede omitir ningún factor, ya que la interacción entre ellos es significativa.

Asimismo, en la tabla 5 se puede apreciar el valor de R^2 que toma un valor de 84.65%, lo cual indica que el diseño describe ese porcentaje de la variabilidad del proceso. De ahí la importancia que tienen los factores involucrados en la variabilidad del proceso.

Tabla 5 Valor R^2 del diseño experimental.

Resumen del modelo			
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.481125	84.65%	77.41%	65.47%

Análisis de las gráficas del diseño de experimentos

Las gráficas de residuos (figura 2) nos indican que el modelo cumple con la condición de normalidad, por tanto, se considera un buen modelo [Maidonand, J. (s.f.)].

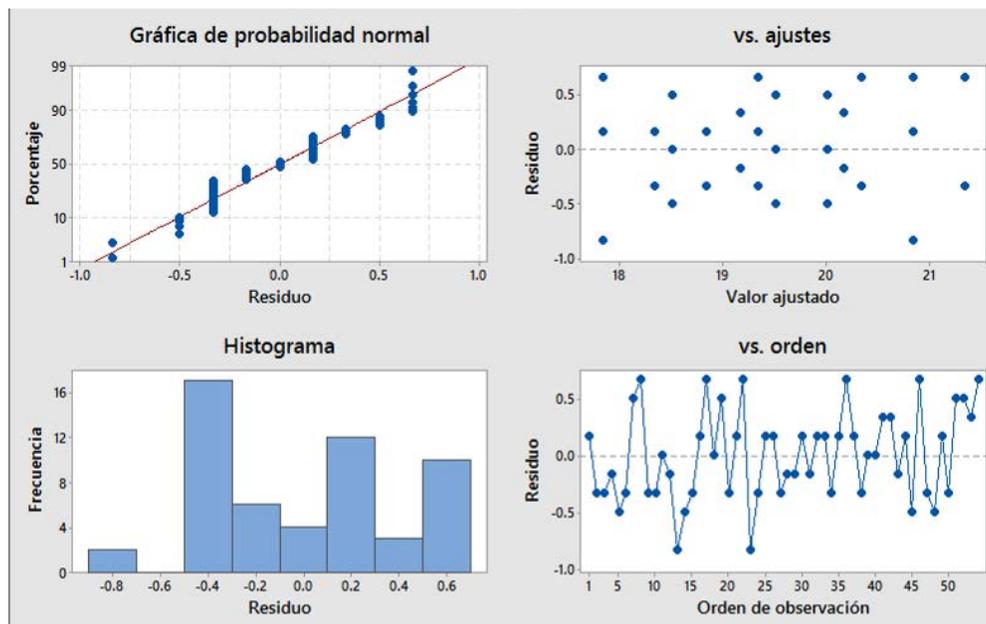


Figura 2 Gráficas residuales del diseño de experimentos.

En la figura 3 se muestran los efectos principales para el porcentaje de acidez final.

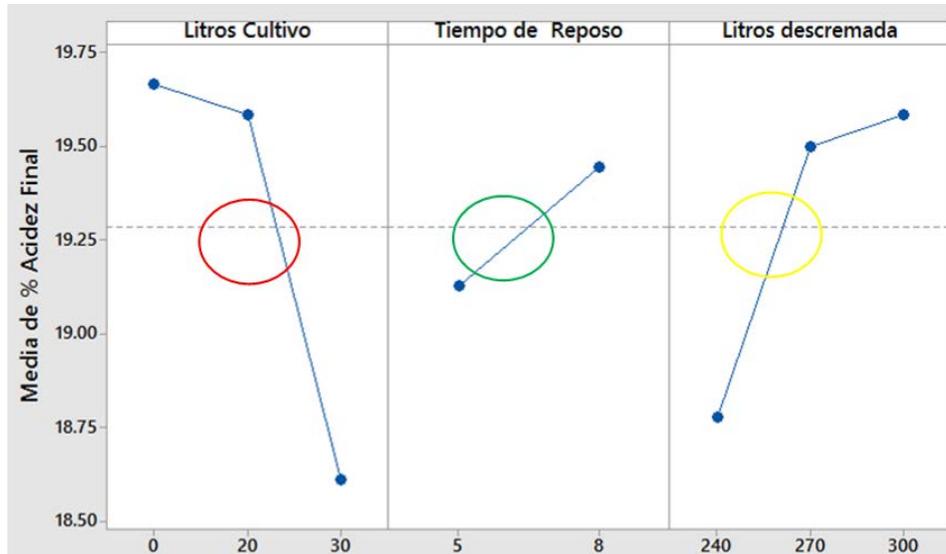


Figura 3 Efectos principales para el porcentaje de acidez final.

De su análisis [Weising, S. (1985)] se concluye que el nivel de acidez deseado (línea punteada) está en aproximadamente en 19.3, esto nos indica que se deben trabajar los litros de cultivo en aproximadamente 25 litros, el tiempo de reposo en 7 minutos y los litros de leche descremada en 260 litros. La intersección de estos factores se muestra en la figura 3.

3. Resultados

Como se ha indicado, uno de los principales problemas en la producción del queso tipo Oaxaca es controlar el nivel de acidez de la leche utilizada para su elaboración. Con la información recabada del proceso y de su análisis a través del uso de herramientas estadísticas, se determinaron aquellas variables que afectan significativamente el nivel de acidez de la leche y, de éstas, aquellas que se pueden manipular en el proceso. Con estas últimas variables se hizo un diseño experimental para determinar el nivel al cual deben de programarse para producir el nivel de acidez de la leche que produzca el mejor beneficio en cuanto a la producción del queso. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

VARIABLES CONSIDERADAS INICIALMENTE:

- Variable de respuesta:
 - ✓ Porcentaje de acidez.
- Variables independientes:
 - ✓ Tiempo de cuajado.
 - ✓ Tiempo de cocido.
 - ✓ PH inicial.
 - ✓ Acidez Inicial.
 - ✓ Tiempo de llenado de la tina.
 - ✓ Tiempo de reposo.
 - ✓ Litros de cultivo.
 - ✓ Litros de leche descremada.
 - ✓ Acidez del cultivo.

Después de realizado el análisis de regresión las variables que afectan significativamente el nivel de acidez de la leche fueron las siguientes.

- Tiempo de cuajado.
- PH inicial.
- Acidez Inicial.
- Tiempo de llenado de la tina.
- Tiempo de reposo.
- Litros de leche descremada.

Resultados del diseño de experimentos:

- Programar los litros de cultivo al nivel de 25 litros.
- Programar el tiempo de reposo a 7 minutos.
- Programar los litros de leche descremada a 260 litros.
- Programando estas variables al nivel indicado el nivel de acidez alcanzado es de 19.3 y que es el más recomendable para alcanzar la máxima producción de queso tipo Oaxaca.

Se espera que, al controlar de las variables en los niveles mencionados, mejore significativamente la calidad y producción de queso en la microempresa.

4. Discusión

En la elaboración del queso tipo Oaxaca, cada productor tiene su proceso y su receta secreta la cual le ha permitido permanecer en el mercado, si bien es cierto que el proceso para producirlo pareciera ser el mismo, la diferencia está en cómo combinar los ingredientes para obtener un queso de mejor calidad y que a su vez sea rentable para el productor.

Este estudio y sus resultados solo aplican a la empresa a la cual se refiere este reporte, ya que cada empresa opera de acuerdo a como sus recursos le permiten, así como también, el análisis estadístico que aquí se presenta y sus resultados se hicieron con base a la información obtenida de esta empresa.

Esto no quiere decir que la metodología presentada funcione sólo para esta empresa. Cada empresa tendrá sus condiciones y bajo estas condiciones lo único que se requiere es obtener la información para hacer el análisis estadístico y sacar las conclusiones correspondientes.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Dean Angela, D. B. (2000). *Desing for analysys*. Springer.
- [2] Experimentos, R. y. (s.f.). Regresión y diseño de experimentos.
- [3] Hamada, M. (2000). Experiments. Planning, Analysis and parameter design optimization. Wiley.
- [4] Maidonanld, J. (s.f.). Data análisis and Graphics using R. Cambridge.
- [5] Peña, D. (2001). Análisis y dieño de experiments. México D.F: Alianza.
- [6] Weisberg, S. (1985). Applied linear regression. Wiley.
- [7] Weising, S. (1985). Desing of analysis of experimental. Wiley.