

Universidad de Montemorelos  
Facultad de Ingeniería y Tecnología

Ingeniería Industrial y de Sistemas

Proyecto de Titulación

**“IDENTIFICACIÓN DE PREDICTORES  
DE LA HUMEDAD EN PROTEÍNA DE  
SOYA TEXTURIZADA”**

**Alumno: Eder Alvarez Romero**

**Asesor: Mtro. Raúl Rodríguez Antonio**

# Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
A.	Antecedentes.....	1
B.	Definición del Problema.....	1
C.	Justificación.....	1
D.	Objetivos.....	2
II.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	2
A.	Marco Teórico.....	2
1)	Estudio R&R.....	2
2)	Carta de Control.....	2
3)	Regresión Lineal.....	3
4)	Diseño Factorial 2k.....	3
5)	Superficie de Respuesta.....	3
B.	Estado del Arte.....	3
III.	Metodología.....	3
IV.	RESULTADOS.....	4
V.	CONCLUSIONES.....	6

# “Identificación de Predictores de la Humedad en Proteína de Soya Texturizada”

E. Alvarez, R. Rodriguez.

**Resumen**— En la elaboración de proteína de soya texturizada (PST), con base en harina de soya desgrasada, por medio del proceso de mezclado, extrusión y secado, es de interés determinar los factores que tienen un efecto significativo sobre el HPT. Con base en lluvia de ideas y diagramas de Ishikawa se identificaron factores preliminares, para conformar una hoja de verificación, que conjuntamente con la aplicación de cartas de control para individuales, fue empleada para el monitoreo planificado del proceso de producción. Los factores candidatos fueron: porcentaje de humedad de la materia prima, porcentaje de aceite de la materia prima, nivel de agua en el proceso, temperatura del horno, turno, velocidad del tornillo extrusor, porcentaje de proteína de la materia prima, ureasa. El filtrado de factores predictores se llevó a cabo empleando regresión lineal múltiple, por medio de criterios de mejores subconjuntos y regresión por pasos. Se obtuvieron dos modelos de predicción. Ambos modelos fueron validados por medio de corridas confirmatorias. El estudio se llevó a cabo en una fábrica de alimentos del estado de Nuevo León, México. El nivel de significancia se fijó en 0.05. Para el análisis estadístico se usó el software Minitab 17.

**Palabras claves:** proteína de soya texturizada; regresión lineal múltiple; cartas de control; diagrama de Ishikawa.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Antecedentes

Actualmente existe una alta demanda de alimentos con base vegetal que puedan ser empleados como alternativa para sustituir alimentos de origen animal. En este contexto, la proteína de soya texturizada (PST) es una excelente opción dado su relativamente bajo costo, aporte nutricional y versatilidad en cuanto a la preparación de alimentos.

Alimentos ColPac®, es una empresa mexicana que elabora PST con base en un proceso de extrusión termoplástica, con materia prima básica harina de soya desgrasada, que es obtenida de proveedores nacionales, como subproducto de la elaboración de aceite vegetal comestible.

Una de las características de calidad de la PST que es de gran importancia para el cliente es el porcentaje de humedad del producto terminado (HPT), debido a que la alta variabilidad en esta característica puede impactar negativamente en la vida de anaquel del producto, la densidad, el volumen, peso, pulverización y la absorción de humedad en la etapa de rehidratación por parte del consumidor. [1]

La humedad es un factor importante dentro del proceso de la elaboración de la PST, el exceso de la misma podría causar el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos. Un nivel de humedad fijo, añadiéndole una temperatura de cocción alta

da como resultado un producto de buena calidad, es decir, un producto suave y menos duro, con tiempo de vida adecuado. [2]

El proceso de elaboración de la PST consiste básicamente en tres etapas: mezclado, extrusión y secado. Una investigación previa en la empresa ColPac®, así como observaciones periódicas del proceso, sugirieron que esas etapas pudieran existir factores que se afectan considerablemente a la HPT.

### B. Definición del Problema

Las bitácoras de producción semanal, así como las cartas de control implementadas en una investigación previa, desarrollada en la Planta ColPac® Montemorelos, evidenciaron una alta variabilidad en la HPT, lo que deriva en una necesidad de mejora en la calidad del proceso y del producto. Así también se requiere estandarizar las especificaciones del HPT, es decir, el valor objetivo y sus límites máximo y mínimo.

De esta forma, se requiere identificar los factores de entrada del proceso que afectan la HPT.

### C. Justificación

La empresa Alimentos ColPac S.A., utiliza un rango aproximado cuenta con números reales que definan un valor aproximado de Humedad del Producto Terminado en la producción de Proteína de Soja Texturizada. Uno de los objetivos que se pretende lograr con esta investigación es encontrar esos valores y ayudar a la empresa optimizando su proceso de elaboración de Proteína de Soja Texturizada, mediante la estandarización de su proceso con la calidad adecuada, se contribuirá a la mejora de la calidad del producto intentando enfocar el producto terminado a la demanda que cada cliente pida dentro de sus especificaciones, haciendo, de cierta manera, que alimentos ColPac® pueda afrontar la solicitud de nuevos clientes. Además de proporcionar mayor rapidez en el proceso.

Habrá un control sobre las variables y efectos principales que estén abarcadas y detectadas por esta investigación, es decir, todos los posibles efectos que se puedan controlar mediante el diseño de experimentos a utilizar en este proyecto.

Se optimizaría el proceso de producción PST acelerando la producción mediante la reducción de tiempo. Se espera que el proyecto pueda servir a la empresa para incrementar su mercado de venta. Ofrecer ergonomía en el proceso de producción de PST, eliminando pasos innecesarios lo que también permite la agilización de la producción. También se contribuirá a la reducción de costos de toda la producción de PST, obteniendo ganancias a la empresa.

#### D. Objetivo

Analizar la variabilidad en el HPT de la PST, en el proceso de extrusión y secado en la planta Montemorelos de Alimento ColPac®, identificando los niveles óptimos de los factores que inciden en la HPT, por medio de modelos de pronóstico.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### A. Marco Teórico

La soya es una leguminosa que contiene 40% de proteína, superando a otras leguminosas como la lenteja (24%), y los chicharos secos (22%); además, contiene 20% de aceite, de manera tal que juntos, aceite y contenido de proteínas representan el 60% aproximadamente del peso seco de la soya. [3]

Debido a su composición de aminoácidos, la soya es utilizada en muchos productos que pueden reemplazar a alimentos de origen animal. [3]

La semilla de esta leguminosa está compuesta de cutícula, hipocotilo y dos cotiledones. Se considera como oleaginosa debido a que tiene un alto contenido de grasa (20%), hidratos de carbono (25%), agua (10%), y cenizas (5%); además de manera tal que juntos, aceite y contenido de proteínas representan el 60% aproximadamente del peso seco de la soya. [4]

Su valor nutricional permite su uso como fortificador de otros productos alimenticios, siendo que el consumo a nivel mundial de esta oleaginosa rebasa los 200 millones de toneladas métricas anuales. [4]

La planta es muy sensible al fotoperiodo. La radiación solar controla la transformación del periodo vegetativo al de floración; también afecta la velocidad de crecimiento durante la etapa de maduración y los mayores rendimientos del grano se obtienen en altitudes menores de 1000 metros sobre el nivel del mar. La semilla varía en forma desde esférica hasta ligeramente ovalada y entre los colores más comunes se encuentran el amarillo, negro y varias tonalidades de café.

En el año 2001, la demanda de soya en México fue de 4.6 millones de toneladas, son embargo, la producción fue de solo 0.121 millones de toneladas, importándose principalmente de Estados Unidos la cantidad restante (4.479 millones de toneladas). [3]

El creciente crecimiento de la población mundial junto con la necesidad de una mejor calidad de vida incide en un aumento en el consumo de alimentos, en especial cereal y oleaginoso.

Desafortunadamente, los alimentos cuyas proteínas son de buena calidad, son los más caros o escasos, y, por lo tanto, casi nunca forman parte de la dieta de personas de escasos recursos. Por el contrario, los cereales son alimentos que se producen abundantemente y cuya disponibilidad es mayor a nivel mundial. Sin embargo, las proteínas de estos granos están formadas para dar sustento a la planta durante su germinación y su composición no es la ideal para el ser humano. Es por esto que se dice que las proteínas de cereales son de menor calidad o incompletas. [4]

El mercado de PS en México se ha calculado en 3.5 millones de toneladas métricas para consumo animal, obtención de aceite y proteína de consumo humano. [5]

Es por ello que se debe evaluar cada paso del proceso de elaboración de PST, el proceso de la PST consiste en tres etapas: 1) mezclado, 2) extrusión y 3) secado, en cada paso del proceso hay variables o factores que pueden afectar negativa o positivamente al producto final. [6]

Por ello se deben estudiar y encontrar los valores óptimos de estos factores para que el producto final cumpla con las especificaciones requeridas para el proceso de producción de PST.

Uno de los factores importantes y que más efecto tiene sobre la PST es la humedad, no contar con los niveles óptimos de humedad se puede producir bacterias, hongos y levadura, además de limitar el tiempo de anaquel del producto final.

Un nivel óptimo de humedad más una temperatura de cocción alta da como resultado un producto suave y menos duro, además de cumplir con especificaciones de calidad y ayudando al tiempo de vida de anaquel.

Dentro del proceso de secado que es parte del proceso de producción de PST, es necesario disminuir la humedad hasta un nivel requerido, es decir, el valor óptimo de humedad.

#### 1) Estudio R&R

Para un proceso dado, existe variabilidad asociada al producto o pieza, además de variabilidad asociada al sistema de medición. Es por eso que es necesario un estudio de Reproducibilidad y Replicabilidad (R&R).

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{producto}^2 + \sigma_{sistema\ medición}^2 \quad (1)$$

Donde  $\sigma^2$  es la varianza y  $\sigma_{instrumento}^2$  se expresa:

$$\sigma_{sistema\ de\ medición}^2 = \sigma_{repetibilidad}^2 + \sigma_{reproducibilidad}^2 \quad (2)$$

La repetibilidad se define como una indicación de la exactitud inherente básica del instrumento y la reproducibilidad como la variabilidad debida a diferentes operadores que usan el instrumento [7].

#### 2) Carta de Control.

Las cartas de control son una herramienta de calidad que ayuda a observar y analizar la variabilidad junto con el comportamiento de un proceso a través del tiempo. [8] Existen cartas de control para variables y para atributos, para la presente investigación se utilizaron las cartas de control para variables, específicamente la carta X-bar R; esta carta de control se utiliza para el control promedio del proceso o el nivel medio de calidad. [9]

Toda carta presenta límites de control, con los cuales se determina las condiciones del proceso, la estimación de los límites de control para la carta X-bar R, se determinan como:

$$UCL = D_4R \quad (3)$$

$$Linea\ Central = R \quad (4)$$

$$LCL = D_3R \quad (5)$$

Donde  $D_4$  y  $D_3$  dependen del tamaño ( $n$ ) de la muestra.

El uso adecuado de una carta de control requiere de una revisión periódica de los límites de control y línea central. [8]

### 3) Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa permite hacer un análisis rápido y estructurado de los proyectos que solucionan el problema.

Con esta metodología se permite contrastar rápidamente las principales características de los proyectos, para así poder hacer un proceso de selección ágil y confiable.

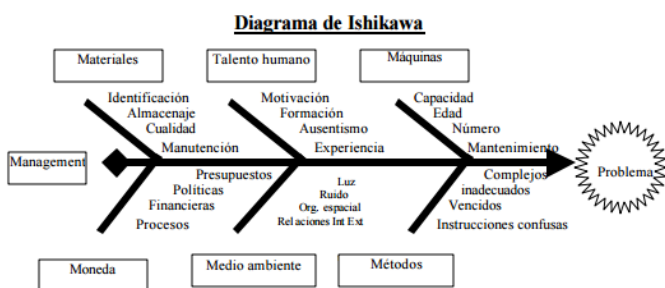


Figura 1. Diagrama de Ishikawa

### 4) Regresión Lineal

La regresión lineal múltiple es un método que se utiliza cuando se presentan más de una variable explicativa, es decir, variables que afecten directamente a la variable de respuesta “ $y$ ”.

Este modelo matemático se encarga de modelar la relación entre la variable dependiente o variable de respuesta  $y$ , y las variables independientes  $x$ . [10]

### 5) Diseño Factorial 2k

Los diseños factoriales  $2^k$  es un método que se utiliza en las etapas iniciales de del trabajo experimental en el caso que se estén investigando muchos factores, este método consiste en  $k$  factores y cada uno cuenta con dos niveles, estos niveles pueden ser cuantitativos o cualitativos, una réplica de este método requiere  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  observaciones. Este modelo se utiliza para realizar la menor cantidad de corridas de experimentación. [10]

### 6) Superficie de Respuesta

El método de superficie de respuesta para el ascenso más profundo, es utilizado para optimizar, de manera rápida, económica y eficiente. Este método es un procedimiento para moverse secuencialmente en dirección de incremento máximo de la respuesta

Estimar el valor óptimo de humedad en PST es de gran ayuda a la industria de alimentos, ya que se podría calcular la HPF en condiciones adecuadas y estimar el tiempo requerido para el proceso, además de obtener ventajas como el aumento de vida de anaquel, mejorar la calidad del pro-

ducto terminado, simplificación del proceso, de almacenamiento y transporte del producto además de preparar el producto para procesos posteriores. [10]

### B. Estado del Arte

Existen estudios en donde se determinó isoterma de absorción en la PST en determinadas temperaturas (10, 20, 30 y 40°C), los resultados obtenidos por los investigadores fueron que el contenido de valor óptimo de humedad de PST en la cantidad de agua de 0.9 disminuyó a medida que la temperatura aumentaba, y en niveles más altos de agua la humedad mostró un comportamiento inverso lo que resulta en un cruce de isoterma, los niveles de humedad de la monocapa de PST se encontraron de 4.6 y 7.4% y disminuía con el aumento de temperatura. [10]

Se encontraron los resultados para tres variables de respuesta del extrusor (presión de la matriz, par torcido, temperatura del producto), y determinaron que la humedad del extrusor es significativa en las tres variables, mientras que la temperatura de cocción solo afecta a la temperatura del producto. En la investigación se obtuvo que el aumento de la humedad reduce el porcentaje de par de torsión, la presión de matriz, y la temperatura del producto. Además encontraron que la disminución de la temperatura y el aumento de humedad eran debido a la fuerza de corte y la entrada de energía mecánica ya que el agua actúa como lubricante.

La información acerca de las características del proceso de secado es muy escasa, por lo que se analizaron las características de secado de dos tipos comerciales de PST y el desarrollo de un modelo capaz de predecir las curvas de secado de estos productos. Los investigadores determinaron las curvas de secado de los dos tipos de PST, mediante tres diferentes tipos de temperatura (90, 110, 130°C) y tres velocidades diferentes de secado de aire (100, 125, 150  $\text{cm s}^{-1}$ ), con dos alturas de capa de del producto especificadas para cada tipo de PST. [11]

En otro trabajo de investigación se midió la variabilidad del pesaje en la operación de despacho del carbón, en una mina de explotación de mediana escala, ubicada en el departamento de Boyacá, en la cual se aplicó la metodología estadística de Reproducibilidad y Repetibilidad (R&R). Realizando el estudio estadístico R&R se pudo identificar el comportamiento, causas y factores críticos, relacionados con la báscula y operarios, los cuales afectan la variabilidad de las mediciones de pesaje del carbón, que para la empresa en estudio, impacta en los costos logísticos de transporte y en la satisfacción de los clientes. [6]

## III. METODOLOGÍA

El proyecto comenzó con el monitoreo, medición e identificación de las etapas y variables relevantes en el proceso, mediante un mapeo del proceso de la elaboración de PST, lluvia de ideas, así como entrevistas con los operarios, personal de control de calidad y personal administrativo. La observación científica ayudó a proponer los posibles factores que pueden interactuar en todo el proceso ya sean internos o externos.

Con esta base, se realizó una lluvia de ideas para clasificar las observaciones de acuerdo a las especificaciones del diagrama de causa- efecto (Ishikawa), se dividieron las posibles causas que afectan a la humedad de acuerdo a las 6'M. (Mano de hombre, máquina, medio ambiente, material método, mediciones). [12](Ver Anexo I)

Se identificaron como factores candidatos predictores más influyentes los siguientes: porcentaje de humedad de la materia prima, porcentaje de aceite de la materia prima, nivel de agua en el proceso, temperatura del horno, turno, velocidad del tornillo extrusor, porcentaje de proteína de la materia prima, ureasa.

Con los posibles factores identificados se procedió a realizar la bitácora de registro también llamada hoja de verificación. Su realización se llevó a cabo modificaciones en la bitácora de la misma empresa, en donde se registraron cuantitativamente las variables incluyendo: densidad, porcentaje de humedad, temperatura del horno y nivel de agua en el proceso.

Se implementó un esquema de muestreo probabilístico sistemático. Las muestras se obtuvieron mediante el procedimiento establecido por la empresa y el departamento de control de calidad, se realizaban 9 muestras diarias bajo los siguientes horarios: 1:00, 4:30, 6:00, 9:30 y 10:30am, 3:00, 5:00, 8:00 y 11:00pm. La medición de la HPT fue realizado en el laboratorio de control de calidad, utilizando una balanza termodinámica. La termobalanza determina el agua contenida (como % de humedad) en una muestra de materia orgánica.

Se utiliza para determinar el grado de humedad en una muestra y su cinética de secado. Estas muestras pueden ser granulados, semillas, polvos, alimentos, suelos, madera y papel, entre muchas otras. [13]

El equipo consiste en una balanza electrónica y un módulo calefactor, la balanza se encarga de medir el peso de la muestra orgánica mientras se le aplica calor para evaporar el agua que contiene. El cálculo de la humedad se determina por la pérdida de peso que sufre la muestra después de ser sometida al proceso de calentamiento. Se utilizó la termobalanza Moisture Determination Balances, modelo A&D 4714A. Ver Figura 2. [13]



Fig. 2. Moisture Determination Balances, modelo A&D 4714A.

Para la obtención de datos se colaboró con el departamento de control de calidad para que llevara registro los datos y proceder a capturarlos para obtener una base de datos la cual fue clasificada por mes, en un periodo de cuatro meses

(Diciembre 2015 – Marzo 2016). Se capturaron y organizaron los datos utilizando el software Excel 2013. Un total de 103 datos fueron capturados dentro del lapso de tiempo de cuatro meses. (Ver Anexo II)

Se aplicaron cartas de control por mes y semanales, y cartas de control globales (cuatro meses); esto con el propósito de analizar y observar si el proceso evidencia signos de causas variabilidad asignable (patrón no aleatorio o puntos fuera de los límites de control). También se realizaron pruebas de normalidad para validar los supuestos de las cartas de control. (Ver Anexo III)

Los límites de especificación y el valor objetivo (target) del HPT fueron proporcionados por la empresa, que fueron estimados en  $6 \pm 2$ . Se desarrollaron pruebas de análisis de capacidad del proceso, y validando la capacidad utilizando los índices de capacidad  $C_{pk}$  (Ver Anexo IV)

La siguiente etapa consistió en identificar los factores significativos utilizando modelos de regresión lineal múltiple. Se construyeron modelos de observación, así como un modelo global de los cuatro meses.

Para el análisis estadístico se utilizó Software Minitab 17. El nivel de significancia se estableció en 0.05.

#### IV. RESULTADOS

La carta de control global, es decir, para observaciones de un periodo de cuatro meses, muestran falta de control, evidenciados por patrones no aleatorios y puntos fuera de los límites de control. Ver figura 3.

Se sabe que las cartas de control proporcionan una visualización de las condiciones del proceso pero no muestra las causas que generan la falta de control. Por lo tanto se verifico con las bitácoras de registro, las cuales sugieren que las posibles causas de variabilidad asignable son los factores: porcentaje de humedad de la materia prima, porcentaje de aceite de la materia prima, nivel de agua en el proceso, temperatura del horno, turno, velocidad del tornillo extrusor, porcentaje de proteína de la materia prima, ureasa.

Se realizaron gráficos de control por semana y por mes para la HPT en donde se observó que la mayoría de las cartas estaban bajo control

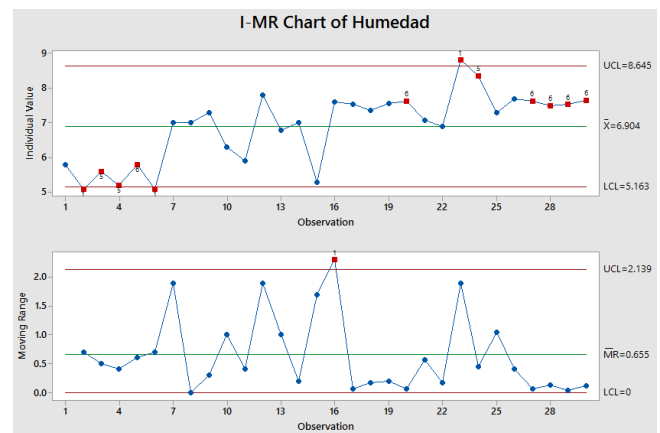


Fig. 3. Carta de control para la humedad (noviembre)

Se encontró que los puntos que están por arriba de 3 desviaciones estándar de la línea central, presentan cambios

bruscos de nivel de agua lo que ocasiona humedad en los registros de la muestra.

Por medio de regresión lineal múltiple se identificaron como predictores significativos y de acuerdo al nivel *P*: Nivel de agua, velocidad, proteína, ureasa, porcentaje de humedad de materia prima.

El ajuste para el modelo es muy bajo (39.73% en R-cuadrada ajustada) y un 34.76% en R-cuad de predicción.

Tabla 1.  
Análisis de regresión lineal múltiple  
Análisis de Varianza

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	73.318	9.1648	7.99	0.000
Temperatura H.	1	0.115	0.1152	0.10	0.752
Agua	1	32.882	32.8817	28.68	0.000
Turno	1	2.543	2.5431	2.22	0.140
Velocidad	1	13.182	13.1825	11.50	0.001
Proteína	1	5.720	5.7205	4.99	0.028
Ureasa	1	4.898	4.8979	4.27	0.041
Proteína Salud	1	0.304	0.3039	0.27	0.608
Humedad_1	1	5.489	5.4890	4.79	0.031
Error	97	111.226	1.1467		
Lack-of-Fit	89	109.520	1.2306	5.77	0.006
Pure Error	8	1.706	0.2132		
Total	105	184.545			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.07082	39.73%	34.76%	25.87%

Se encontró evidencia de multicolinealidad, ya que los valores del factor de inflación de la varianza (VIF) son mayor a 1.

¿Cómo resultó la siguiente regresión?

Tabla 2.

Valores del factor de inflación de la varianza (VIF)

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	655	1281	0.51	0.611	
Temperatura H.	0.0033	0.0103	0.32	0.752	2.08
Agua	0.5060	0.0945	5.36	0.000	1.79
Turno	0.335	0.225	1.49	0.140	1.17
Velocidad	-0.0914	0.0270	-3.39	0.001	1.53
Proteína	1.274	0.570	2.23	0.028	4.40
Ureasa	-166.9	80.7	-2.07	0.041	305.77
Proteína Salud	-7.8	15.2	-0.51	0.608	1.65
Humedad_1	-3.93	1.80	-2.19	0.031	309.53

Se encontró que los factores más significativos son: Nivel de Agua del Proceso (Agua), Velocidad del tornillo extrusor (Velocidad), porcentaje Humedad\_1, Ureasa.

Se efectuaron corridas confirmatorias por medio de realizó regresión lineal a cada mes estudiado. Los resultados se muestran en la siguiente tabla 3.

Tabla 3.  
Factores significativos por mes.

Mes	Factor	P-Value
Noviembre	Agua	0.05
	Agua	0.043
Diciembre	Velocidad	0.002
	Velocidad	0.0019
Enero	Agua	0.000..

En la corrida de regresión línea mensual se obtuvieron, como más significativos, los factores Agua y Velocidad. Los factores como Ureasa y el Porcentaje de Humedad no son recibidos por la regresión al ser datos que no presentan cambios a nivel mensual. (Ver Anexo V)

El factor turno queda bajo sospecha ya que el mismo no es un valor continuo, como las demás variables, sino que, es un valor categórico. Para validar el impacto que este factor tiene sobre el proceso se necesita validar la hipótesis que dice que existe una diferencia entre turno 1 y turno 2.

$$H_0: M_1 = M_2$$

$$H_2: M_1 \neq M_2$$

(6)

Para ello se comprueba que exista normalidad dentro del porcentaje de humedad (variable independiente) de los dos turnos. La Figura 4 muestra que se comprobó el supuesto de normalidad (Ver Anexo VI)

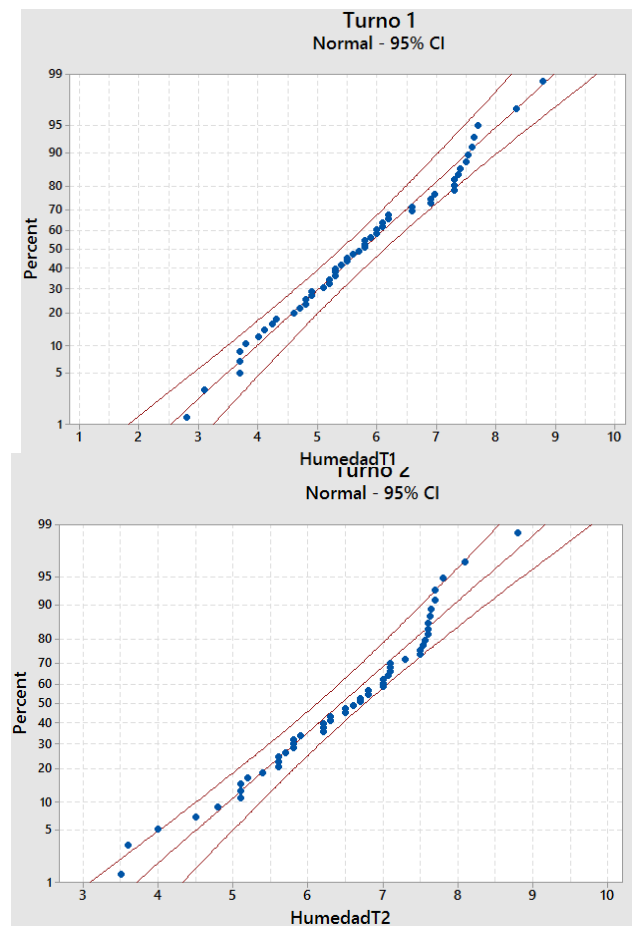


Figura 4. Comprobación de la normalidad en Turno 1 y turno 2.

Se procedió a crear un modelo de regresión lineal múltiple solo con los factores significativos.

Tabla 3.

Análisis de regresión para primer modelo

**Regression Analysis: Humedad versus Agua, Velocidad, Humedad\_1**

## Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	63.42	21.1411	17.80	0.000
Agua	1	34.05	34.0524	28.68	0.000
Velocidad	1	11.20	11.1997	9.43	0.003
Humedad_1	1	10.44	10.4433	8.79	0.004
Error	102	121.12	1.1875		
Lack-of-Fit	55	86.89	1.5799	2.17	0.004
Pure Error	47	34.23	0.7283		
Total	105	184.54			

## Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.08971	34.37%	32.44%	27.74%

## Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	6.83	2.09	3.26	0.002	
Agua	0.4662	0.0871	5.36	0.000	1.47
Velocidad	-0.0782	0.0255	-3.07	0.003	1.32
Humedad_1	-0.335	0.113	-2.97	0.004	1.18

## V. CONCLUSIONES

Se concluye que los factores significativos son la humedad de la materia prima, nivel de agua (galones hora) y velocidad del tornillo extrusor.

Se propone aplicar un diseño de experimentos para identificar los valores óptimos de los factores significativos.

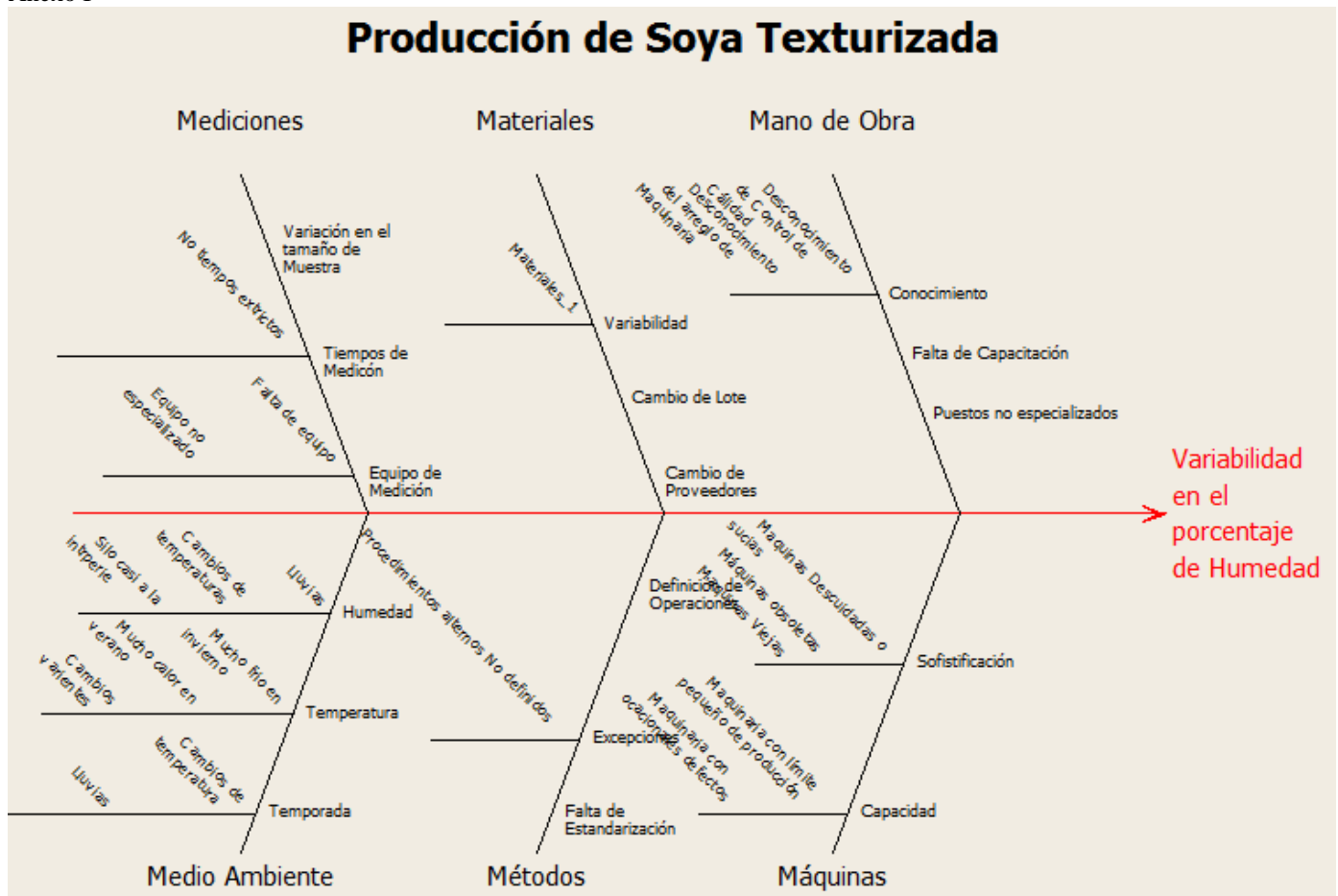
## (1) Agradecimientos

Agradecemos a la empresa de alimentos que nos brindó su apoyo para la realización de este proyecto, brindándonos información y la colaboración del personal tanto del departamento de control de calidad como de la línea de producción.



Anexos

Anexo I



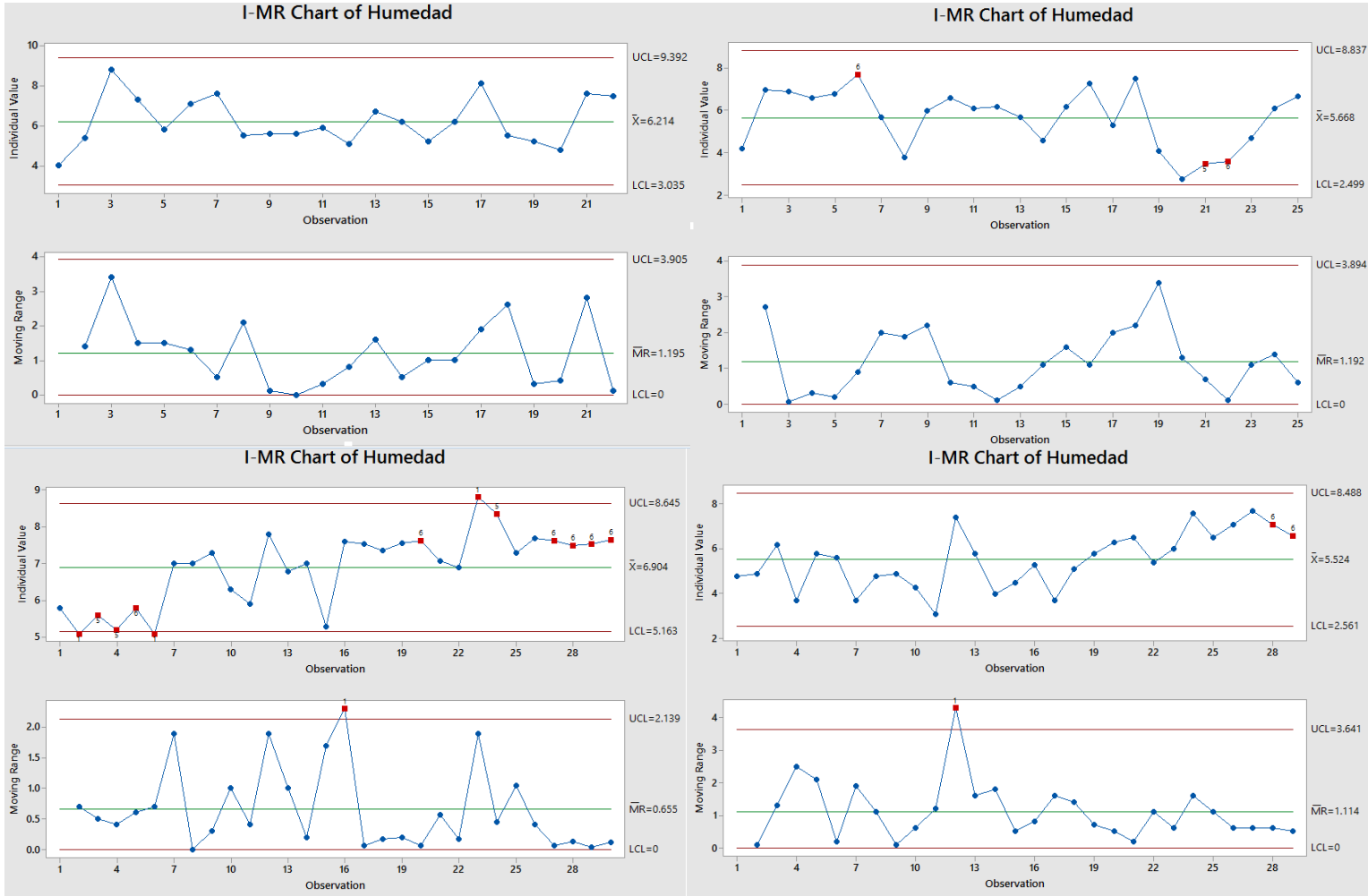
Anexo II

Orden de los 103 datos de porcentaje de humedad en Excel 2013.

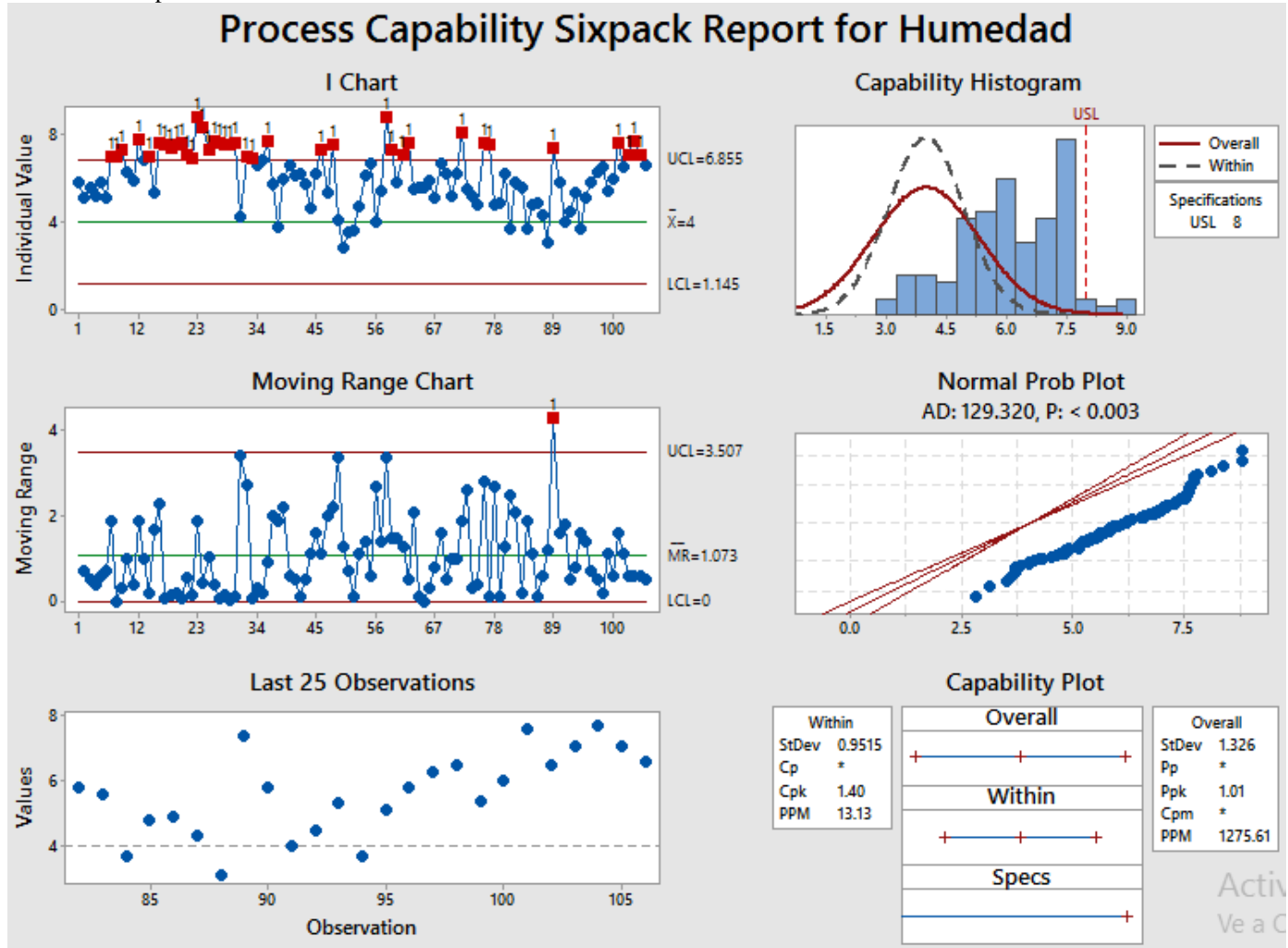
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Producto	Semana	Turno	Fecha	Densidad	Humedad	R.H.			Fx1	Fx2	Fx3	F4	Polvo	Temperatura	Agua	Operador	Velocidad
2	SN	56	1	13-ene-16	191.6	4	2.54	2.58	71.7	16.7	7.9	1.6	2.1	109	12.5	Antonio	40	
3	SN	57	1	2 13-ene-16	220.3	5.4	2.5	2.5	74.6	15.9	6	1.1	2.8	110	12	Antonio	40	
4	SN	58	1	2 13-ene-16	203.9	8.8	2.38	2.41	79	13	4.6	0.9	2.7	94	12	Antonio	40	
5	SN	59	1	1 14-ene-16	227.4	7.3	2.25	2.33	62.3	20.8	10.5	2	4.1	104	13	Antonio	42	
6	SN	60	1	1 14-ene-16	210.5	5.8	2.51	2.57	72.9	17.6	6.6	0.9	1.8	102	13.5	Antonio	40	
7	SN	61	1	2 14-ene-16	219.3	7.1	2.44	2.42	72.2	16.8	7	1.2	3	103	13	Adoni	40	
8	SN	62	1	2 14-ene-16	227.4	7.6	2.4	2.5	79.8	12.1	4.9	0.9	3	103	13	Adoni	38	
9	SN	63	2	1 18-ene-16	191.6	5.5	2.55	2.62	79.3	10.7	4.6	6.1	3.9	101	14	Antonio	48	
10	SN	64	2	2 18-ene-16	192.2	5.6	2.56	2.53	80.3	10.1	4.7	1.2	3.6	102	13.5	Carlos	45	
11	SN	65	2	1 19-ene-16	182.2	5.6	2.47	2.57	90.4	5	1.3	0.4	2.9	100	13.3	Antonio	45	
12	SN	66	2	1 19-ene-16	220.7	5.9			91.4	2.3	3.2	0.8	2.4	99	13.3	Antonio	48	
13	SN	67	2	2 19-ene-16	193.7	5.1	2.54	2.55	89	6.2	2.3	0.6	2.1	99	13.5	Carlos	45	
14	SN	68	2	2 19-ene-16	185	6.7	2.55	2.6	86.7	6.6	2.5	0.8	3.4	101	13.5	Carlos	45	
15	SN	69	3	1 25-ene-16	205.1	6.2	2.4	2.52	79.7	11.8	4.8	0.8	3	89	14	Antonio	48	
16	SN	70	3	1 25-ene-16	201.6	5.2	2.4	2.55	78.4	12.9	5	0.9	2.6	91	14	Antonio	48	
17	SN	71	3	2 25-ene-16	212	6.2	2.51	2.53	81.4	11.6	4.2	0.6	2.2	96	13.5	Adoni	45	
18	SN	72	3	2 25-ene-16	209.8	8.1	2.5	2.43	82.3	11.4	3.9	0.5	2.1	96	14.5	Adoni	45	
19	SN	73	3	1 28-ene-16	183.1	5.5	2.5	2.59	83.9	9.7	3.3	0.6	3.1	75	14	Antonio	48	
20	SN	74	3	1 28-ene-16	197	5.2	2.57	2.76	77.6	12.5	18.9	1.1	2.5	79	14	Antonio	48	
21	SN	75	3	1 28-ene-16	184	4.8	2.57	2.65	81.7	12.2	3.8	0.6	1.7	84	14	Antonio	48	
22	SN	76	3	2 28-ene-16	199.6	7.6	2.45	2.47	75.6	15.1	5.1	1	2.7	88	15.5	Adoni	45	
23	SN	77	3	2 28-ene-16	195.4	7.5								89	15.5	Adoni	45	

Anexo III

Cartas de Control para Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero correspondientemente de izquierda a derecha.



Anexo IV  
Estudios de Capacidad.



Anexo V  
Ejemplo de datos sin cambio.

Humedad	Temperatura	Agua	Turno	Velocidad	Proteína	Ureasa
7.5	89	15.5	2	45	47.64	0.05
4.8	90	15	1	48	47.64	0.05
4.9	91	15	1	48	47.64	0.05
6.2	91	15	2	45	47.64	0.05
3.7	87	15	1	50	47.64	0.05
5.8	88	15	1	50	47.64	0.05
5.6	108	13	2	32	47.64	0.05
3.7	96	10	1	31	47	0.05
4.8	94	10	2	32	47	0.05

## REFERENCIAS

- [1] C. Ratti. *Advances in food Dehydration*. Florida: Taylor & Francis Group, 2009.
- [2] A. Luna Jiménez, Valor Nutritivo de la Proteína de Soya, vol. 15, núm. 36, Septiembre-Diciembre, 2006, pp. 29-34 Universidad Autónoma de Aguascalientes Aguascalientes, México.
- [3] Secretaría de Salud, 1991. *Ley General de Salud*. México, D.F. Diario Oficial de la Federación.
- [4] Olaf Justo Torres\* y William Pérez Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia Carretera al Guatao km 3 ½, La Habana, C.P. 19 200, Cuba.
- [5] Torres y Torres, Nimbe; Tovar-Palacio, Armando R La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud Salud Pública de México, vol. 51, núm. 3, mayo-junio, 2009, pp. 246-254 Instituto Nacional de Salud Pública Cuernavaca, México.
- [6] A. Luna Jiménez, Composición y procesamiento de la soya para consumo humano Investigación y Ciencia, vol. 15, núm. 37, enero-abril, 2007, pp. 35-44 Universidad Autónoma de Aguascalientes Aguascalientes, México.
- [7] Arango Serna, Martín Darío; Gómez M., Rodrigo Andrés; Zapata Cortes, Julián Andrés, Medición Y Mejoramiento de la Operación de despacho de Carbón a través de Modelo Estadístico R&R, Boletín de Ciencias de la Tierra, núm. 33, enero-junio, 2013, pp. 135-146 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia.
- [8] Quintana Aiicia, García Liliana, casal ricardo, "LATERAL VARIABILITY TO EVALUATE THE RESPONSE SPEED OF A PROCESS CONTROL CHART" diciembre 2011, Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Rep. Argentina.
- [9] C. M. Douglas, "Análisis de Capacidad del Proceso y de Sistemas de Medición," en control Estadístico de la Calidad, 3ra ed. Arizona: Wiley, 2007, pp. 377-380.
- [10] Montgomery Douglas C. (2007), *Diseño y análisis de experimentos*, México, Editorial Limusa S.A de C.V
- [11] J. Ruedal, Y. Kil-Changl y F. Martinez-Bustos, *Functional Characteristics of Texturized Defatted Soy Flour*, Septiembre, 2003, Facultad de Ingeniería de Alimentos. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Estatal de Campinas.
- [12] J. Sarmiento, *Evaluación de Proyectos*, 2001.
- [13] AND Company limited, *Moisture Determination Balances A&D 4714A*, AND Company, 1992.