

Modelos predictivos para estimar la degradación de las variables que componen el grado de color del algodón Upland

Víctor Mauricio Estrada Ruiz¹, Manuel Iván Rodríguez Borbón¹,
Iván García Garrobo¹, Ángel Peralta Meza⁴

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

Resumen: El análisis de degradación es una herramienta estadística importante, utilizada para inferir sobre el comportamiento de las características de calidad en función del tiempo, lo que es conocido como confiabilidad. El presente artículo presenta una aplicación de modelos de degradación lineales, para el análisis de las características de calidad que determinan el grado de color del algodón tipo americano o Upland, dicha aplicación consistió en el estudio de muestras de algodón expuestas a las condiciones ambientales externas, con el objeto de conocer el comportamiento de la pérdida del grado de color de la fibra de algodón cuando esta es almacenada a la intemperie. El grado de color del algodón americano se compone por dos características la “reflectancia” (Rd) y “pigmentación” (+b), dichas características fueron monitoreadas bajo las condiciones antes mencionadas y de los datos obtenidos se formularon dos tipos de modelos: primeramente un modelo de regresión lineal simple con series de tiempo y posteriormente un modelo de degradación simple con proceso Gaussiano, para cada característica de calidad del grado de color. Así mismo se presenta un comparativo entre los tiempos medios de falla (MTTF) de ambos modelos respecto a las dos variables estudiadas y sus respectivos niveles críticos de degradación o pseudofallas, donde los modelos de degradación con proceso Gaussiano resultan más asertivos dado que utilizan un coeficiente de variación entre unidades y un coeficiente de movimiento Browniano para modelar los cambios aleatorios en las condiciones ambientales.

Palabras Clave: Modelos de degradación, Proceso Gaussiano, Regresión lineal, Series de tiempo.

Introducción

La preocupación primaria de las organizaciones hoy en día es la calidad de los productos y servicios ofertados, ya que es esta característica la que le permitirá a las empresas sobrevivir a un mercado cambiante y globalizado (Luna & Mendoza, 2004). Sin embargo, no solo las características de calidad de productos y servicios son factores a tomar en cuenta, si no su comportamiento a través del tiempo y esto es conocido como confiabilidad, para Meeker y Escobar (1998) la confiabilidad es la

probabilidad de que un producto sobreviva un periodo de tiempo determinado, bajo condiciones de operación normales.

Así mismo, uno de los principales retos que las industrias enfrentan en la actualidad es la medición del desgaste de los productos o bien la disminución de su nivel de desempeño, lo que es conocido como degradación (Reliasoft, 2013), los datos de degradación pueden ser obtenidos a través de la medición del cambio en

las características físicas de los productos como se realizó en la aplicación mostrada en el presente artículo.

En algunos productos puede haber más de una variable de degradación o más de un proceso de degradación. Meeker y Escobar (1998) presentan ejemplos en los que se usa una sola variable de degradación. En estos se describen algunos modelos específicos para curvas de degradación, comúnmente estos modelos empiezan con una descripción determinística del proceso de degradación, después la aleatoriedad puede ser introducida usando distribuciones de probabilidad para describir la variabilidad en condiciones iniciales y parámetros del modelo como propiedades del material.

En ocasiones la medición de la degradación puede hacerse sin necesidad de realizar pruebas invasivas o destructivas, es decir la medición podrá hacerse bajo condiciones de operación normal (Reliasoft, 2013). Mediante la observación de la pérdida de atributos o características físicas en los productos, es posible conocer el grado de desgaste de los mismos, para esto es recomendable realizar un análisis de degradación física o de desempeño.

Algunos productos, sobre todo los agrícolas, presentan dificultad para determinar la falla, sin embargo es posible establecer un nivel crítico de pérdida de alguna característica física del producto, conocido como pseudofalla.

Jararha, Ebrahim y Al-Masri (2011) refieren que la necesidad de modelos de autocorrelación para datos de degradación, esto debido a que algunas veces las mediciones de degradación están correlacionadas, dado que tales mediciones son tomadas con respecto al tiempo. Las series de tiempo pueden exhibir

autocorrelación causada por modelar el error o cambios cíclicos en condiciones ambientales en los errores de medición o en el proceso de degradación mismo.

Generalmente, la autocorrelación se fortalece cuando los tiempos entre medidas son relativamente cortos y se vuelve menos perceptible cuando los tiempos entre proceso son más grandes.

Por la razón anterior es preciso utilizar un modelo de regresión lineal con series de tiempo para estimar la degradación del algodón tipo americano, respecto a su color. Sin embargo otro modelo resulta interesante, un modelo de efectos mixtos.

Los modelos de efectos mixtos, si se dispone de un “buen modelo” físico-químico, se puede comprender mejor los mecanismos que generan las fallas, si todos o algunos de los parámetros asociados a este modelo se consideran como variables aleatorias de unidad a unidad (Granada 2004).

Modelos de regresión con proceso Gaussiano han sido utilizados en áreas como medicina (Doksum & Normand, 1995), grietas por fatiga en componentes estructurares de aeronaves, principalmente en piezas de aluminio (Mohanty, Chattopadhyay, & Peralta, 2007), en la ubicación de redes de sensores inalámbricos (Richter & Toledano, 2015); además de Modelos de degradación con proceso Gaussiano para medicina (Doksum & Normand, 1995) y para el análisis de la degradación de cojinetes industriales (Hong & Zhou, 2011).

Modelos con proceso Gaussiano son muy populares en análisis donde hay una fuerte relación entre las variables de estudio y el

tiempo, básicamente este tipo de procesos son estocásticos donde en cada punto del tiempo, las variables aleatorias se distribuyen normalmente. En tanto los modelos de degradación con proceso Gaussiano toman en cuenta un parámetro de variación entre unidades, un movimiento browniano y una dispersión del error, modelando factores como el clima, cuando estos son tomados como efectos mixtos.

1.1 Antecedentes

El algodón actualmente es la fibra textil de mayor uso en el mundo, su mercado abarca más del 50% de todas las fibras textiles vendidas en E.U. Existen tres tipos de algodón el mayormente producido en América del norte, México y Sudamérica es el Algodón Upland (*Gossypium hirsutum*) o tipo americano, ya que este representa el 95% de la producción total (AMSDA, 2015)

La producción de algodón en el estado de Chihuahua representa más del 63% de la producción nacional (García, 2015) en el estado esta se ha concentrado en cuatro zonas, destacando las regiones de Ojinaga y Casas Grandes-Villa Ahumada. Existe suficiencia de capacidad instalada de despepite en el Estado con 28 plantas instaladas y expectativa de nuevas aperturas de crecer la superficie establecida y/o se puedan mejorar los rendimientos por hectárea.

También en Chihuahua el algodón es uno de sus cultivos de mayor tradición y de mejor

desempeño productivo, de igual manera es importante su impacto social y económico por la serie de actividades económicas y productivas que se generan en torno a la agroindustria del despepite, de proveeduría de insumos, asesoría técnica y otras, que demandan una gran generación de empleos directos e indirectos (García, 2015)

Hoy en día existen métodos de cultivo y almacenaje del algodón en pluma, de alta tecnología, sin embargo en varios sectores del estado de Chihuahua aún se sigue almacenando el producto a la intemperie, esto debido a falta de infraestructura o sobreproducción en algunas temporadas, dicha práctica daña el color de la fibra por la exposición a los factores ambientales tales como: la temperatura, humedad y radiación solar entre otros.

La pérdida del grado de color en el algodón impacta directamente en los procesos industriales a los cuales este es sometido, sobre todo en la industria textil, específicamente en la capacidad de la fibra para absorber colorante, ya que el algodón de bajo grado de color absorbe una mayor cantidad de colorante. (USDA, 1999)

El grado de color se calcula usando un código de color de tres dígitos. El código de color está determinado por la localización del punto en el cual intersectan los valores “Rd” y “+b” sobre el diagrama para algodón Upland del colorímetro de algodón Nickerson - Hunter.

Método

La aplicación descrita en el presente artículo requirió de la monitorización de las variables “Rd” y “+b” (reflectancia y pigmentación, respectivamente) utilizando un HVI

(Instrumento de alto volumen) para la medición de dichas variables, la prueba se realizó por 456 horas, con intervalos de 24 horas cada lectura. El objetivo fue medir los cambios de ambas

variables por la exposición a los factores ambientales (Radiación solar, humedad relativa y temperatura), los cuales fueron monitoreados.

2.1 Particularidades de la prueba

Se estima conveniente definir las particularidades de la prueba efectuada a la fibra de algodón, es importante señalar que la prueba se llevó a cabo en el periodo comprendido entre el 26 de agosto al 14 de Septiembre de 2015, en la ciudad de Ascensión, Chihuahua, cuyo clima es extremo, la temperatura máxima promedio fue de 34⁰ C. en tanto la humedad relativa del 60 % y el índice de radiación solar fue 10 el cual es extremadamente alto.

Se muestrearon 40 especímenes seleccionados aleatoriamente, de la producción 2015 en la población de Ascensión, Chihuahua. Cada muestra se identificó con un código de barras para facilitar el registro de cada medición. En total se recabaron 600 datos producto de 15 lecturas en intervalos aproximados de 24 Hrs.

2.2 Descripción del método

Para el diseño de un modelo predictor de la pérdida del grado de color del algodón Upland, se parte del modelo general de trayectorias de degradación, mostrado en la ecuación 1:

$$y_{ij} = D(t_{ij}, \beta_{li}, \dots, \beta_{ki}) + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

Debido a que se comprueba que la trayectoria es lineal se utilizara un modelo de degradación con trayectoria lineal representado por la ecuación número 2:

$$y_{ij} = \beta t \quad (2)$$

Cuando existe autocorrelación en los datos obtenidos, se recomienda el uso de un modelo

de regresión lineal con series de tiempo (Al-Jararha, Al-Haj, & Al-Marsi, 2011), ya que existe una correlación serial, dicho en otras palabras la variable estudiada está altamente asociada con el tiempo.

En el análisis de regresión se considera que la variable x es la variable independiente o regresiva y se mide sin error, mientras que y es la variable respuesta para cada valor específico x_i de x ; y además Y es una variable aleatoria con alguna función de densidad para cada nivel de x (Ostle, 1979).

De lo anterior se obtiene un modelo de regresión lineal

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (3)$$

Donde para cada valor y_i observado para un x_i , puede considerarse como el valor esperado de Y , dado x_i , obviamente cualesquier estimación estadística de regresión deberá tomar en cuenta el error y de lo anterior obtenemos un modelo lineal generalizado.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

Incluyendo la serie de tiempo a la ecuación anterior se obtiene la fórmula para calcular t o el tiempo medio para la falla dado una pseudofalla o nivel crítico de degradación.

$$t = \frac{\beta_0 - y_i}{\beta_1} + \varepsilon_i \quad (5)$$

Siendo t el tiempo medio para la falla β_0 el coeficiente de degradación de origen, y_i la pseudofalla o el nivel crítico de degradación, β_1 coeficiente de la constante de degradación asociada al tiempo y ε_i es el error

Como se mencionó anteriormente el otro modelo utilizado fue un modelo de degradación lineal con proceso Gaussiano utilizando el software R, y este tiene su origen en el modelo lineal general presentado en la ecuación 1, incluyendo una variación de unidad a unidad, un movimiento Browniano y la variación del error, lo anterior mediante un modelo Wiener con efectos aleatorios (Ye, Chen, & Shen, 2015):

$$D(t) = \eta + \sigma\beta(\Delta t) + \sigma\epsilon \quad (6)$$

Donde η es la tasa de degradación, σ es la volatilidad del parámetro, β es el movimiento browniano estándar, Δ es el incremento del

tiempo y ϵ es el error. Cabe mencionar que dicho modelo incluye la variación entre unidades, la dependencia del tiempo y la variación del error.

Para utilizar el modelo descrito en la ecuación 6 los datos observados deberán ser transformados en datos de degradación, aplicando la fórmula 7

$$D(t_o) = D_o + D_{n-1} \quad (7)$$

Donde $D(t_o)$ representa la degradación en el tiempo t_o , es la degradación del último periodo y D_{n-1} es la degradación acumulada hasta la última medición.

Resultados

El modelo para estimar la pérdida de brillo o reflectancia en la fibra de algodón proviene de la aplicación de la fórmula 4 y se presentan los

resultados del análisis de regresión para la variable “RD” efectuado en Minitab® en la figura 1.

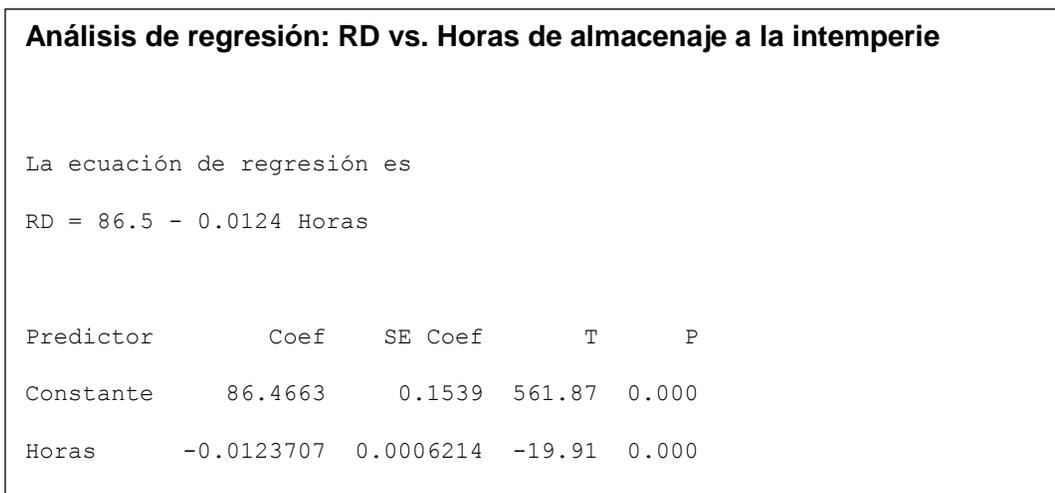


Figura 1. Resultado de Rd usando Minitab®

El modelo obtenido es un excelente predictor ya que el coeficiente de determinación es de un 96% y la suma de cuadrados del error son ≈ 0.108 (1.410/13). En tanto el modelo para

predecir la pigmentación representada por la variable “+b” se presenta en la figura 2, muestra un coeficiente de determinación del 94% y una suma de cuadrados del error de ≈ 0 (0.5240/13).

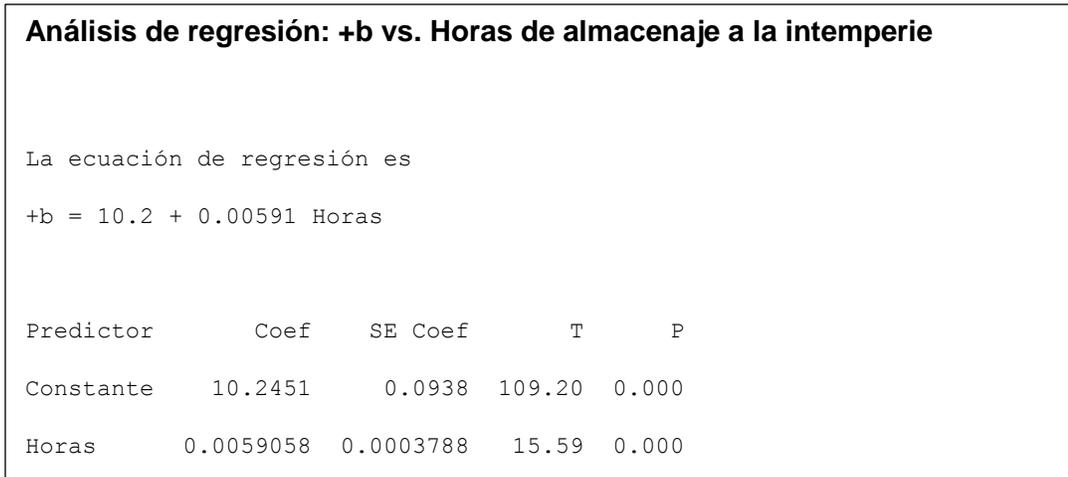


Figura 2. Resultado de +b usando Minitab®

Calculando los MTTF de las pseudofallas, y utilizando las ecuaciones 4 y 5 se obtienen para “Rd” y “+b” los tiempos medio para la falla

mostrados en la tabla 1, dichos datos son resultado de la aplicación del modelo de regresión lineal simple

Tabla 1. Tiempos medios de falla para niveles críticos con modelo de regresión

Variable	Pseudofalla	T (horas)	T(Dias)	T (meses)
Rd	45	3346	139	4.6
+b	17.6	1252	52	1.70

La figura 3 muestra las gráficas de dispersión y series de tiempo de ambas variables (“Rd” y “+B”), dando oportunidad de apreciar el comportamiento ascendente y descendente, mediante dicho análisis grafico se comprueba la

gradual perdida ce brillo de la fibra de algodón y la pigmentación de la misma, lo que se podría traducir como perdida de la blancura del algodón.

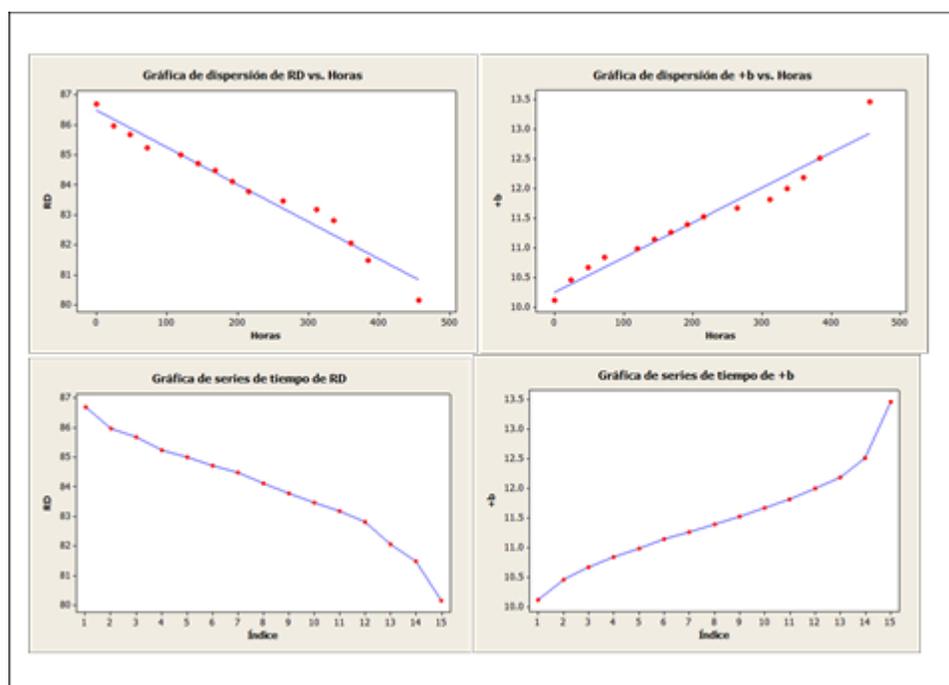


Figura 3. Gráficas de dispersión y series de tiempo en Minitab®

Para la utilización del modelo lineal de degradación con procesos Gaussiano se integra de una variación aleatoria entre unidades, un movimiento browniano y la variación del error, dichos parámetros se muestran en la figura 4,

tomando como pseudofalla 41.68 puntos de degradación de acuerdo a la escala de reflectancia mostrada en el colorímetro de Nickerson - Hunter.

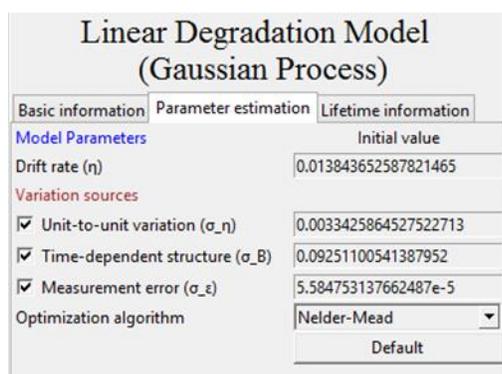


Figura 4. Parámetros estimados en R para “Rd”

Para utilizar el modelo lineal de degradación mostrado en la ecuación 6, se transforman los datos aplicando la fórmula 7, con ayuda del

software R, se emplea el modelo lineal de degradación con proceso Gaussiano y en la figura 5 se encuentran la gráfica de degradación,

el gráfico de cajas, la función de densidad de probabilidad y función de distribución

acumulada, la pseudofalla para dicho análisis se estimó en 41.68 puntos de degradación.

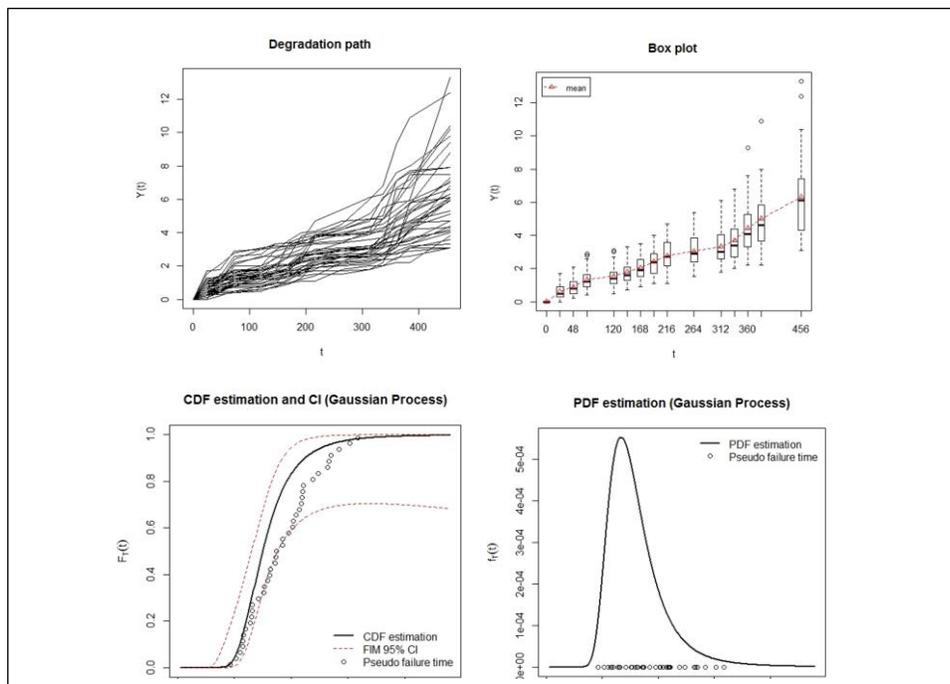


Figura 5. Análisis gráfico de degradación de “reflectancia” utilizando R

Para el cálculo del MTTF de la variable “+b” que representa la pigmentación se determinó una pseudofalla de 7.49 puntos de degradación de acuerdo al colorímetro de algodón Nickerson

- Hunter. (AMSDA, 2015), los resultados gráficos de la degradación de la blancura de la fibra son mostrados en la figura 6

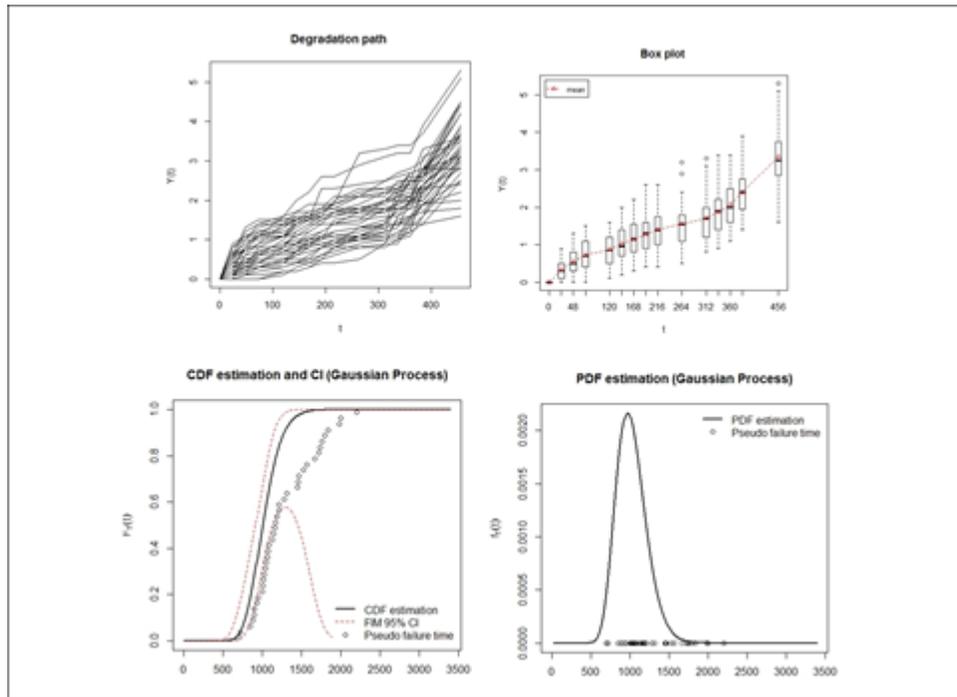


Figura 6. Analisis gráfico en R, para la pigmentación

Los parametros del modelo de degradación lineal con proceso Gaussiano para la variable “+b”, calculados con el software R, son mostrados en la figura 7

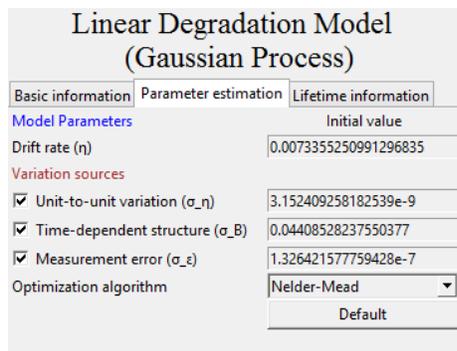


Figura 7. Estimación de parámetros para “+b”

Los MTTF para los niveles críticos de degradación calculados en R, mediante el modelo de degradación lineal con proceso Gaussiano se muestran en la tabla 2

Tabla 2. MTTF calculados a partir de modelo de degradación lineal.

Variable	Pseudofalla	T (horas)	T(Dias)	T (meses)
Rd	41.68	3234	134	4.49
+b	7.49	1021	42	1.41

Dados los resultados de los dos modelos, de acuerdo a los valores críticos obtenidos del colorímetro de Nickerson – Hunter, se hace una comparación entre los MTTF calculados a partir

de los dos modelos, los resultados se muestran en la tabla 3 dando una diferencia de estimación para “Rd” de 5 días y 10 días para “+b”.

Tabla 3. Comparativo entre los dos modelo

Variable	Regresión Lineal	Degradación (proceso Gaussiano)
Rd	3346 Horas	3234 Horas
+b	1252 Horas	1021 Horas

Tomando como referencia la degradación observado en la prueba se comparan los dos modelos en términos de eficiencia y se observa que para las dos variables, el modelo de

degradación lineal con proceso Gaussiano es el que mejor se ajusta hacia los datos observados, tal como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Comparativo entre los datos observados y los dos modelos

	Observado	Regresión	Proceso Gaussiano
Rd	456 Horas	512 Horas	506 Horas
+b	456 Horas	551 Horas	456 Horas

Conclusiones

El almacenamiento de la fibra de algodón a la intemperie es un factor de riesgo a considerar ya que la pérdida del grado de color es significativa y continua, el brillo de la fibra desaparecerá

aproximadamente 4.5 meses y el tono blanco se dañará en solo mes y medio.

Los modelos utilizados en el presente artículo otorgan resultados similares ya que ambos

parten de un modelo de regresión lineal general, sin embargo dado que al incluir un proceso Gaussiano en el modelo de degradación lineal, permite la modelación de la variación de unidad a unidad, además de un parámetro de movimiento browniano que modela la

naturaleza estocástica del clima y la variación del error de estimación; ofrece un modelo más eficiente para predecir la degradación sufrida por el algodón Upland debido a su almacenaje a la intemperie.

Recomendaciones

Dados los resultados del análisis de degradación a las características de color del algodón tipo americano, se recomienda minimizar los tiempos de exposición a los factores ambientales de la fibra de algodón después del proceso de despepite.

También se recomienda un análisis de degradación acelerada para ver la influencia de cada uno de los factores ambientales, ya que con la manipulación deliberada de la intensidad de cada uno de estos, se podrá determinar la significancia de cada factor respecto a la pérdida del grado de color.

Referencias

Al-Jararha, J., Al-Haj, M., & Al-Marsi, A. (2011). Estimating the Parameters of Degradation Models when Error Terms are Autocorrelated. *Austrian Journal of statistics*, 40(3), 191-200.

AMSDA. (25 de 02 de 2015). Obtenido de <http://www.amsda.com.mx/prnacionales/nacionales/prnalgodon2.pdf>

Dhillon, B. (2004). *Reliability, Quality and safety for engineers*. Florida: CRC Press.

Doksum, K., & Normand, S. (1995). Gaussian Models for Degradation Processes-Part I: Methods for the Analysis of Biomarker Data. *Lifetime Data Analysis*(1), 131-144.

Escobar, L., Villa, E., & Yañez, S. (Noviembre de 2003). Confiabilidad: Historia, estado del arte y desafíos futuros. *Dyna*, 70(140), 5-21.

Garcia, M. (3 de 08 de 2015). *Diagnóstico del algodón en chihuahua*. Obtenido de El economista:

<http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2015/08/03/diagnostico-algodon-chihuahua-i>

Hong, S., & Zhou, Z. (2011). Application of Gaussian Process Regression for Bearing Degradation Assessment. *School of Reliability and System Engineering*, 644-648.

Meeker, W., & Escobar, L. (1998). *Statistical methods for reliability data*. New York: John Wiley & Sons. Inc.

Mohanty, S., Chattopadhyay, A., & Peralta, P. (2007). Fatigue Life Prediction Using Multivariate Gaussian Process. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 1-15.

Ostle, B. (1979). *Estadística aplicada*. México: Limusa.

Reliasoft. (2013). *Life Data Analysis Reference*. E.U.A.: Reliasoft Publishing.

Richter, P., & Toledano, M. (2015). Revisiting Gaussian Process Regression Modeling for Localization in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 22587-22615.

USDA. (1999). La clasificación del algodón. 1-18.

Ye, Z.-S., Chen, N., & Shen, Y. (2015). A new class of Wiener process models for degradation analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 58-67.