



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**Modelamiento de las reacciones químicas para el tratamiento de leche
contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de lacasa**

EVELYN VALERIA RAMOS SANDOVAL

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGÍSTER EN AGROINDUSTRIA MENCIÓN GESTIÓN DE
LA CALIDAD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA**

Riobamba – Ecuador

Agosto – 2022

©2022, Evelyn Valeria Ramos Sandoval

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: Modelamiento de las reacciones químicas para el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de lacasa, de responsabilidad de la señorita Evelyn Valeria Ramos Sandoval ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. LUIS EDUARDO HIDALGO ALMEIDA; Ph. D.

PRESIDENTE

Ing. EDER LENIN CRUZ SIGUENZA; Mag.

DIRECTOR

Bq. F. JOHN MARCO QUISPILLO MOYOTA; Mag.

MIEMBRO

Ing. MARÍA BELÉN BRAVO AVALOS; Ph. D.

MIEMBRO



Firmado electrónicamente por:
**EDER LENIN
CRUZ
SIGUENZA**

**JOHN
MARCOS
QUISPILLO
MOYOTA**

Firmado digitalmente por:JOHN
MARCOS QUISPILLO MOYOTA
DN: cn=JOHN MARCOS
QUISPILLO MOYOTA c=EC
o=RIOBAMBA ou=ESPOCH DTIC
ou=AUTORIDAD DE
CERTIFICACION ESPOCH DTIC
Motivo Soy el autor de este
documento
Ubicación:

**MARIA BELEN
BRAVO
AVALOS**

Firmado digitalmente por:MARIA
BELEN BRAVO AVALOS
DN: cn=MARIA BELEN BRAVO
AVALOS (s)=MARIA BELEN c=EC
o=RIOBAMBA ou=Certificacón de Clase
2 de Persona Física EC (FIRMA)
e=belen_b33@hotmail.com
Motivo Soy el autor de este documento
Ubicación:
Fecha:2022-08-01 09:51:05.00

Riobamba, agosto 2022

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, EVELYN VALERIA RAMOS SANDOVAL, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

EVELYN VALERIA RAMOS SANDOVAL

C.C. 060337648-4

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, EVELYN VALERIA RAMOS SANDOVAL, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

EVELYN VALERIA RAMOS SANDOVAL

C.C. 060337648-4

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios por haberme brindado fortaleza y sabiduría para poder afrontar los retos que se han presentado durante mi preparación profesional. A mi madre Nancy Sandoval, por ser mi ejemplo a seguir y demostrarme que con esfuerzo, constancia y sacrificio se llega a la meta. A mi padre Pablo Ramos por los valores que ha inculcado en mí y a pesar de la distancia siempre ha estado brindándome palabras de aliento para alcanzar mis objetivos. A mis hermanos Jessica, Paola y Julio quienes han estado conmigo en los momentos más importantes de mi vida brindándome su apoyo y amor incondicional, gracias por su paciencia. Y finalmente agradezco a mi esposo Byron Andrés por la ayuda y apoyo brindado en la realización de este trabajo.

Evelyn

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por iluminar y guiar mi vida, permitiéndome alcanzar exitosamente este sueño tan anhelado para mí.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis magíster Eder Lenin Cruz Siguenza, por impartir sus conocimientos y su apoyo constante durante la realización del trabajo de Tesis.

Un más sincero agradecimiento al magíster. Jhon Quispillo, Dra. Davinia Sánchez Macías y a la PhD. María Belén Bravo Ávalos, por la dedicación y apoyo que me han brindado en el desarrollo del presente trabajo de tesis.

A todos mis familiares, amigos, maestros y personas quienes me han brindado su apoyo durante esta etapa.

Evelyn

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
<i>1.1.1. Situación problemática</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2. Formulación del problema</i>	<i>1</i>
<i>1.1.3. Preguntas directrices o específicas de la investigación</i>	<i>2</i>
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes del problema.....	5
2.2. Bases teóricas.....	5
<i>2.2.1. Cinética de Reacciones</i>	<i>5</i>
<i>2.2.2. Gestión ambiental de leche contaminada</i>	<i>10</i>
<i>2.2.3. Modelación y simulación de reacciones químicas.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.4. Uso de lacasa para degradación de oxitetraciclina</i>	<i>14</i>
CAPÍTULO III.....	18
3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.1. Diseño de investigación.....	18
<i>3.1.1. Tipo y diseño de la investigación.....</i>	<i>18</i>
<i>3.1.2. Método de investigación.....</i>	<i>18</i>
<i>3.1.3. Enfoque de la investigación.....</i>	<i>18</i>
<i>3.1.4. Alcance investigativo.....</i>	<i>18</i>
<i>3.1.5. Población de estudio</i>	<i>19</i>
3.2. Parámetros de las variables operacionales.....	19
3.3. Modelamiento de la reacción química de oxitetraciclina y lacasa.....	19
<i>3.3.1. Balance de masa de la reacción de OTC.....</i>	<i>19</i>
<i>3.3.2. Cinética de degradación de OTC</i>	<i>21</i>
3.4. Porcentaje de remoción de OTC.....	27

CAPÍTULO IV	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Análisis de la cinética de degradación de OTC	30
4.2. Análisis de la cinética de degradación en las diferentes concentraciones de OTC por cada hora de contacto.	41
4.3. Porcentaje de remoción de OTC en leche cruda	67
4.4. Ecuaciones de predicción del modelo matemático de la degradación de OTC en leche cruda.	94
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	100
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Valores medios de concentración de oxitetraciclina en muestras de leche ¹ , con presencia de diferentes concentraciones de lacasa durante 6 horas de contacto.....	16
Tabla 1-3: Parámetros para el modelamiento y simulación de la reacción química.....	18
Tabla 2-3: Valores de concentración de oxitetraciclina (μM) en muestras de leche cruda, con presencia de diferentes concentraciones de oxitetraciclina durante 8 horas de contacto.....	24
Tabla 3-2: Porcentaje (%) de remoción de concentración de oxitetraciclina en muestras de leche cruda, con presencia de diferentes concentraciones de oxitetraciclina durante 8 horas de contacto.....	27
Tabla 1-4: Ecuaciones de predicción para concentración de OTC.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Entorno de MATLAB.....	11
Figura 2-2:	Características generales de MATLAB.....	12
Figura 1-3:	Reactor Batch.....	19
Figura 2-3:	Editor de MATLAB para la reacción de OTC.....	20
Figura 3-3:	Workspace de MATLAB para la reacción de OTC.....	21
Figura 4-3:	Simulación de la reacción de OTC en Simulink.....	21
Figura 5-3:	Subsistema de la reacción de OTC en Simulink.....	22
Figura 6-3:	Bloque de parámetros cinéticos de la reacción de OTC en Simulink....	22
Figura 7-3:	Tiempo de contacto de la reacción de OTC en Simulink.....	23
Figura 8-3:	Respuesta de salida de la reacción de OTC a 200 μ M a la hora = 1 en Simulink.....	23

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 200 μ M.....	29
Gráfico 2-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 203 μ M.....	30
Gráfico 3-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 206 μ M.....	30
Gráfico 4-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 207 μ M.....	31
Gráfico 5-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 208 μ M.....	31
Gráfico 6-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 209 μ M.....	31
Gráfico 7-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 216 μ M.....	32
Gráfico 8-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 220 μ M.....	32
Gráfico 9-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 221 μ M.....	32
Gráfico 10-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 224 μ M.....	33
Gráfico 11-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 226 μ M.....	33
Gráfico 12-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 228 μ M.....	33
Gráfico 13-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 233 μ M.....	34
Gráfico 14-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 235 μ M.....	34
Gráfico 15-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 247 μ M.....	34
Gráfico 16-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 248 μ M.....	35
Gráfico 17-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 253 μ M.....	35
Gráfico 18-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 256 μ M.....	35
Gráfico 19-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 259 μ M.....	36
Gráfico 20-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 262 μ M.....	36
Gráfico 21-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 265 μ M.....	36
Gráfico 22-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 267 μ M.....	37
Gráfico 23-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 274 μ M.....	37
Gráfico 24-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 277 μ M.....	37
Gráfico 25-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 281 μ M.....	38
Gráfico 26-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 286 μ M.....	38
Gráfico 27-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 292 μ M.....	38
Gráfico 28-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 295 μ M.....	39
Gráfico 29-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 297 μ M.....	39
Gráfico 30-4:	Concentración de OTC luego de 8 horas de contacto para 300 μ M.....	39
Gráfico 31-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 1.....	41
Gráfico 32-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 1....	41
Gráfico 33-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 2.....	42
Gráfico 34-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 2....	42

Gráfico 35-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 3.....	43
Gráfico 36-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 3....	44
Gráfico 37-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 4.....	45
Gráfico 38-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 4....	45
Gráfico 39-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 5.....	46
Gráfico 40-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 5....	46
Gráfico 41-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 6.....	47
Gráfico 42-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 6....	48
Gráfico 43-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 7.....	49
Gráfico 44-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 7....	49
Gráfico 45-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 8.....	50
Gráfico 46-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 8....	50
Gráfico 47-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 16.....	51
Gráfico 48-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 16..	52
Gráfico 49-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 17.....	53
Gráfico 50-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 17..	53
Gráfico 51-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 18.....	54
Gráfico 52-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 18..	54
Gráfico 53-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 19.....	55
Gráfico 54-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 19..	56
Gráfico 55-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 20.....	57
Gráfico 56-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 20..	57
Gráfico 57-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 21.....	58
Gráfico 58-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 21..	59
Gráfico 59-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 22.....	60
Gráfico 60-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 22..	60
Gráfico 61-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 23.....	61
Gráfico 62-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 23..	62
Gráfico 63-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 24.....	63
Gráfico 64-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 24..	63
Gráfico 65-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 25.....	64
Gráfico 66-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 25..	65
Gráfico 67-4:	Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 26.....	66
Gráfico 68-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 26..	66
Gráfico 69-4:	Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 1.....	67

Gráfico 70-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 1....	68
Gráfico 71-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 2.....	69
Gráfico 72-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 2....	69
Gráfico 73-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 3.....	70
Gráfico 74-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 3....	70
Gráfico 75-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 4.....	71
Gráfico 76-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 4....	72
Gráfico 77-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 5.....	73
Gráfico 78-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 5....	73
Gráfico 79-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 6.....	74
Gráfico 80-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 6....	74
Gráfico 81-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 7.....	75
Gráfico 82-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 7....	76
Gráfico 83-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 8.....	77
Gráfico 84-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 8....	77
Gráfico 85-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 16.....	78
Gráfico 86-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 16...	79
Gráfico 87-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 17.....	80
Gráfico 88-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 17...	80
Gráfico 89-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 18.....	81
Gráfico 90-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 18...	82
Gráfico 91-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 19.....	83
Gráfico 92-4: Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 19...	83
Gráfico 93-4: Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 20.....	84

Gráfico 94-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 20...	84
Gráfico 95-4:	Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 21.....	85
Gráfico 96-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 21...	86
Gráfico 97-4:	Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 22.....	87
Gráfico 98-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 22...	87
Gráfico 99-4:	Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 23.....	88
Gráfico 100-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 23...	89
Gráfico 101-4:	Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 24.....	90
Gráfico 102-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 24...	90
Gráfico 103-4:	Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 25.....	91
Gráfico 104-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 25...	91
Gráfico 105-4:	Gráfica de control del porcentaje (%) de remoción de OTC, durante la hora 26.....	92
Gráfico106-4:	Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 26...	93
Gráfico 107-4:	Ecuación de predicción para hora 1.....	93
Gráfico 108-4:	Ecuación de predicción para hora 2.....	93
Gráfico 109-4:	Ecuación de predicción para hora 3.....	94
Gráfico 110-4:	Ecuación de predicción para hora 4.....	94
Gráfico 111-4:	Ecuación de predicción para hora 5.....	94
Gráfico 112-4:	Ecuación de predicción para hora 6.....	94
Gráfico 113-4:	Ecuación de predicción para hora 7.....	94
Gráfico 114-4:	Ecuación de predicción para hora 8.....	94
Gráfico 115-4:	Ecuación de predicción para hora 16.....	94
Gráfico 116-4:	Ecuación de predicción para hora 17.....	95
Gráfico 117-4:	Ecuación de predicción para hora 18.....	95
Gráfico 118-4:	Ecuación de predicción para hora 19.....	95
Gráfico 119-4:	Ecuación de predicción para hora 20.....	95
Gráfico 120-4:	Ecuación de predicción para hora 21.....	95
Gráfico 121-4:	Ecuación de predicción para hora 22.....	95
Gráfico 122-4:	Ecuación de predicción para hora 23.....	96
Gráfico 123-4:	Ecuación de predicción para hora 24.....	96

Gráfico 124-4: Ecuación de predicción para hora 25..... 96
Gráfico 125-4: Ecuación de predicción para hora 26..... 96

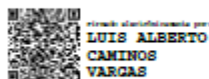
ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Normativa Codex CX/MRL 2-2018: límites máximos de residuos (LMR) y recomendaciones sobre la gestión de riesgos (RGR) para residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos

RESUMEN

El objetivo fue modelar las reacciones químicas que genera el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de lacasa, empleando los softwares MATLAB y Simulink. La simulación se llevó a cabo con 30 muestras de leche cruda con concentraciones de oxitetraciclina entre 200 μ M y 300 μ M, con lacasa de concentración 0,01 μ M, por cada litro de leche contaminada, durante un tiempo de contacto de 26 horas, para un volumen de 75L. Para la verificación del funcionamiento del modelamiento y análisis de la capacidad del proceso se empleó el software MINITAB. Los resultados del análisis validan que el modelamiento funciona y que el proceso es adecuado ya que las concentraciones se encuentran dentro de los límites permisibles de oxitetraciclina a partir de la quinta hora de contacto donde se obtiene una concentración de 80,18 μ M. Al transcurrir las 26 horas de contacto se tiene una concentración de 0,72 μ M que corresponde al 99,71% de remoción de oxitetraciclina en leche cruda y de acuerdo a la normativa el límite máximo de oxitetraciclina permitido en leche es de 100 μ M. De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelamiento simulado, se comprueba la efectividad de la lacasa en la reducción de antibiótico en concentraciones superiores a 200 μ M e inferiores a 300 μ M.

Palabras clave: <MODELAMIENTO>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <SIMULINK (SOFTWARE)>, <PROGRAMA ESTADÍSTICO MINITAB>, <REACCIÓN QUÍMICA>, <OXITETRACICLINA>, <LACASA>, <ANTIBIÓTICO>.



26-07-2022

0086-DBRA-UPT-IPEC-2022

ABSTRACT

The objective was to model the chemical reactions generated by the treatment of milk contaminated with oxytetracycline through the application of laccase, using MATLAB and Simulink software. The simulation was carried out with 30 samples of raw milk with oxytetracycline concentrations between 200 μ M and 300 μ M, with laccase at a concentration of 0.01 μ M, for each liter of contaminated milk, during a contact time of 26 hours, for a volume of 75L. For the verification of the operation of the modeling and analysis of the process capacity, the MINITAB software was used. The results of the analysis validate that the modeling works and that the process is adequate since the concentrations are within the permissible limits of oxytetracycline from the fifth hour of contact where a concentration of 80.18 μ M is obtained. After 26 hours of contact, there is a concentration of 0.72 μ M, which corresponds to 99.71% removal of oxytetracycline in raw milk and, according to regulations, the maximum limit of oxytetracycline allowed in milk is 100 μ M. According to the results obtained in the simulated modeling, the effectiveness of laccase in reducing antibiotic concentrations above 200 μ M and below 300 μ M is verified.

Keywords: <MODELATION>, <MATLAB (SOFTWARE)>, <SIMULINK (SOFTWARE)>, <MINITAB STATISTICAL PROGRAM>, <CHEMICAL REACTION>, <OXYTETRACYCLINE>, <LACASA>, <ANTIBIOTIC>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Situación problemática

El modelamiento de las reacciones químicas para el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina empleando lacasa, tiene su importancia dentro del sector ganadero y lácteo al proponer una solución a la gran problemática que se presenta en esta industria como es la presencia de antibióticos en la leche. Este problema se da principalmente a la falta de capacitación y conocimiento de las nuevas normativas que rigen sobre la calidad de esta materia prima (leche), o incluso de forma intencionada por parte de los ganaderos para no perder la producción.

Por otra parte, la recesión tecnológica presentada durante muchos años por este sector, impulsa a presentar esta propuesta que no solo beneficiará económicamente a los productores de leche sino también evitará o mitigará la contaminación producida por la eliminación de leche contaminada con antibiótico directamente al suelo o al agua sin un tratamiento previo.

1.1.2. Formulación del problema

En el sector ganadero y la industria láctea la presencia de leche contaminada con antibiótico se ha convertido en un problema de salud pública no solo en Ecuador sino en todos los países del mundo, la falta de conocimiento y aplicación de buenas prácticas de ordeño en las ganaderías, genera enfermedades bacterianas en los animales vacunos, como por ejemplo la mastitis y para tratar dichas enfermedades es necesario recurrir al uso de antibióticos. (Mera A et al, 2017, p. 89)

De acuerdo a la Organización Mundial de Salud (2020), el escaso conocimiento induce a no respetar los tiempos de retiro de antibióticos y en otros casos el uso excesivo de la concentración del antibiótico provoca la pérdida de la calidad de la leche.

Actualmente se han llevado a cabo diversos estudios para eliminar o disminuir la presencia de antibióticos en la leche. Sin embargo, estos estudios para degradar antibióticos en leche se han efectuado con la ayuda de procesos de oxidación avanzada con ozono, pero su costo es muy excesivo y no ofrece rentabilidad a los pequeños y medianos productores. (Andrade, 2014, p.218)

Paz (2020, p.22) en su investigación sobre el uso de la enzima lacasa (presente en hongos) para la eliminación de antibióticos en leche a partir de pretratamientos previos a la leche contaminada, indica que “la concentración de oxitetraciclina en leche disminuye con el incremento de la concentración de enzima lacasa”. Con esta afirmación, se evidencia la necesidad de realizar una modelación de la reacción química y su simulación en Matlab y Simulink para conocer el comportamiento de la enzima sobre el antibiótico a diferentes concentraciones de antibiótico. (Paz, 2020, p.23)

1.1.3. Preguntas directrices o específicas de la investigación

- a. ¿Cómo modelar las reacciones químicas en el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de lacasa?
- b. ¿Cuáles son los valores óptimos para las variables de operación en el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de la lacasa?
- c. ¿Cuál es el máximo porcentaje de remoción de oxitetraciclina a través del modelo generado?
- d. ¿Cómo se compara la concentración de oxitetraciclina luego del tratamiento en el modelamiento con la norma establecida en el CODEX?

1.2. Justificación de la investigación

La presente investigación se enfoca en el estudio predictivo del manejo de las actividades productivas dentro de la ganadería y la industria láctea con el propósito de evitar o minimizar el impacto ambiental provocado por la eliminación de leche contaminada con oxitetraciclina que genera esta actividad.

La falta de conocimiento en buenas prácticas de ordeño, conlleva a un uso indiscriminado de fármacos en el tratamiento de diversas enfermedades del animal vacuno y al incumplimiento en el tiempo de retiro del antibiótico, que son factores que han provocado excesivas pérdidas económicas no solo para los productores sino también en la industria láctea, ya que el producto (leche) pierde su calidad al estar contaminada con antibióticos. (Nieto et al., 2012, p. 158)

Partiendo desde el punto de vista reglamentario, Ecuador ha adoptado la normativa internacional del CODEX ALIMENTARIUS como referencia para presencia de antibiótico en leche, mismo que indica que el límite máximo permisible de antibiótico en leche es de apenas 100 µg/l, lo que provoca el rechazo de leche que exceda este límite. (Codex Alimentarius, 2018)

Por otra parte, la preocupación de eliminar leche contaminada con antibióticos en el suelo o en el agua, radica en el hecho de que, las bacterias tienen la capacidad de generar mecanismos de resistencia hacia los medicamentos para tratarlos, y por tanto si no se degradan o eliminan antes de que la leche sea desechada, pueden tener contacto con las bacterias que se localizan en todo el medio ambiente; desarrollando resistencia a los antibióticos empleados para su tratamiento. (Máttar et al., 2009, p. 103)

Por tal motivo la presente investigación realizará un modelamiento de las reacciones químicas para la gestión ambiental de leche contaminada con residuos de antibiótico, específicamente oxitetraciclina, utilizando a la enzima lacasa, partiendo desde leche cruda contaminada sin ningún tratamiento previo.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

- a. Modelar las reacciones químicas que genera el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de lacasa.

Objetivos específicos

- a. Establecer los valores óptimos de las variables de operación para el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de la lacasa.
- b. Determinar el máximo porcentaje de remoción de oxitetraciclina a través del modelo generado.
- c. Comparar la concentración de oxitetraciclina en leche luego del tratamiento en el modelamiento, con el valor establecido en el CODEX para leche con antibiótico.

Hipótesis

Hipótesis general

- a. Las reacciones químicas si influyen en el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la aplicación de lacasa.

Hipótesis específicas

- a. La determinación de los valores óptimos de las variables de operación si influye en el tratamiento de leche contaminada con OTC a través de la aplicación de la lacasa.
- b. La determinación del máximo porcentaje de remoción de oxitetraciclina si disminuye la concentración de OTC presente en la leche.

- c. La concentración de OTC en la leche luego del tratamiento en el modelamiento si cumple con la normativa CX/MRL 2-2018 establecida por el CODEX para antibiótico presente en leche.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Los estudios efectuados hasta el momento para degradar antibióticos en leche han aplicado procesos como: oxidación avanzada con ozono y métodos electroquímicos, generando efectos positivos en la eliminación del antibiótico, sin embargo, resultan muy costosos y complicados su implementación por parte del productor de leche. (Patiño, Arroyave and Marín, 2012, p.41)

En estudios realizados para reducir o eliminar antibiótico en leche cruda, se han optado por usar absorbentes ya sea resinas funcionales o carbón activado, sin embargo, los resultados no han sido favorables, ya que no se logra una separación total del antibiótico de la leche según lo descrito en la investigación de Paz sobre la degradación de antibióticos. (Paz, 2020, p.32)

Además, al emplear esos procesos, solamente puede removerse cantidades pequeñas de antibiótico, en márgenes de tiempos que pueden ir hasta horas, sin embargo, mediante ese proceso no se degrada la molécula de antibiótico simplemente se separa dicha molécula. (Charm,1980, p. 98).

Según Paz (2020, p. 41), en su estudio sobre uso de lacasa para degradación de oxitetraciclina (OTC) en leche, comprueba la efectividad de la enzima sobre el antibiótico, dando lugar a un posterior estudio sobre variación de concentración de antibiótico en leche.

Por tanto, en el modelamiento que se desarrollará se valorará la efectividad de la degradación de OTC en leche en diferentes concentraciones agregando la enzima lacasa de *Trametes versicolor*, para la simulación de la degradación de antibiótico se emplea un modelamiento matemático de la reacción química que se produce empleando softwares informáticos como MATLAB y Simulink.

Logrando conocer que resultado arrojaría un tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina bajo diferentes escenarios, sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad, economizando de esta manera tiempo y dinero.

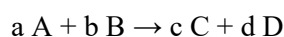
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cinética de Reacciones

Según Izquierdo (2004, p. 145), una ecuación cinética es una expresión que relaciona la velocidad de reacción con los factores que influyen sobre la misma, por ejemplo, concentraciones de los reactantes, la temperatura, la presión del sistema, o, si la reacción es catalítica, el tipo y cantidad de catalizador utilizado. (Izquierdo et al., 2004, pp.145-150)

Los datos experimentales permiten obtener la ecuación, basados en un diseño experimental en el que se determina la velocidad de reacción, variando de manera conveniente los factores que intervienen en la reacción y estableciendo así parámetros operacionales.

La velocidad de reacción de acuerdo a Peirano (2014, p. 109), describe que la dependencia funcional de la velocidad de reacción con las concentraciones de los reactivos se representa de la siguiente manera:



Esta reacción da lugar a la ecuación de la ley de velocidad:

$$v = k. [A]^x. [B]^y \quad (1)$$

Dónde:

v: velocidad de reacción

k: constante de velocidad específica

[A], [B]: concentraciones iniciales

x, y: orden de reacción respecto a cada reactivo

Por otra parte, Peirano (2014, p. 79), muestra que la relación existente entre la ley de velocidad y exponentes a los que están elevadas las concentraciones, se lo conoce como orden de reacción. (Peirano 2014, pp. 79 - 81)

2.2.1.1. Orden de reacción

El orden de reacción es la suma de las potencias a las que están elevadas las concentraciones de dichos reactivos en la ley de rapidez. (Ccaso et al. 2015, p.125)

- a. Reacciones de orden cero: La rapidez de una reacción de orden cero es una constante, que no depende de la concentración de los reactivos.

$$[A] = -kt + [A]_0 \quad (2)$$

Dónde:

[A]: concentración final

[A₀]: concentración inicial

k: constante de velocidad específica

t: tiempo

- b. Reacciones de primer orden: Es una reacción donde la rapidez depende de la concentración de un reactivo elevado a la primera potencia, sigue una ecuación de la forma:

$$-\frac{1}{a} \frac{\partial[A]}{\partial t} = k [A]$$

Separando las variables

$$\frac{\partial[A]}{[A]} = -a k \partial t$$

E integrando entre las condiciones de partida [A]₀ y las correspondientes a un tiempo arbitrario t

$$\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{\partial[A]}{[A]} = -a k \int_0^t \partial t$$

La ecuación integrada de una reacción de orden una en A queda:

$$\ln \frac{[A]}{[A]_0} = -a k t$$

Despejando

$$[A] = [A]_0 e^{-a k t} \quad (3)$$

- c. Reacciones de segundo orden: Es una reacción donde la rapidez depende de la concentración de un reactivo elevado al cuadrado, sigue una ecuación de la forma:

$$-\frac{1}{a} \frac{\partial[A]}{\partial t} = k [A]^2$$

Separando las variables

$$-\frac{\partial[A]}{[A]^2} = a k \partial t$$

E integrando entre las condiciones de partida [A]₀ y las correspondientes a un tiempo arbitrario t.

$$-\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{\partial[A]}{[A]^2} = a k \int_0^t \partial t$$

La ecuación integrada de una reacción de orden una en A queda:

$$\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = -a k t$$

Despejando

$$[A] = ([A]_0^{-1} + a k t)^{-1} \quad (4)$$

De acuerdo a Paz (2020, p. 58), la degradación de OTC en leche cruda, experimentalmente se ajusta a la cinética de primer orden, que se representa con la ecuación:

$$\ln [A] = \ln [A_0] - k t$$

que también puede expresarse como

$$[A] = [A_0]e^{-k t} \quad (5)$$

Dónde:

[A]: concentración final

[A₀]: concentración inicial

k: constante de velocidad específica

t: tiempo

Donde la constante de velocidad (k) es una constante de proporcionalidad de la velocidad de reacción y las concentraciones de reactivos. Su valor es característico en cada reacción y no depende de la concentración de los reactivos. (Peirano, 2014, p. 63)

Varía directamente proporcional con la temperatura(T), es decir, a mayor T, mayor k, por tanto, mayor velocidad de reacción. Las unidades de k dependen del orden total de reacción en la ley de velocidad cuya ecuación se representa. (Brown et al., 2004, p. 147)

2.2.1.2. Ecuación de Arrhenius

La ecuación de Arrhenius es una expresión matemática que permite comprobar la relación térmica existente en una reacción química con respecto a la constante de velocidad. (Atarés, 2009, p.79). Dicha relación se expresa como:

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (6)$$

Dónde:

k: constante de velocidad específica.

A: factor de frecuencia.

Ea: energía de activación. (J/mol).

R: constante (8.314 J/°K.mol).

T: temperatura absoluta. (°K)

Los valores de A y Ea son específicos para cada reacción.

De la ecuación 4 tenemos:

$$\ln k = -\frac{Ea}{RT} + \ln A$$
$$y = ax + b \quad (7)$$

Considerando que:

$$a = -\frac{Ea}{R}$$
$$Ea = -aR \quad (8)$$

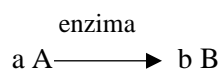
$$b = \ln A$$
$$A = e^b \quad (9)$$

2.2.1.3. Reacciones enzimáticas

La cinética enzimática estudia la velocidad en que las enzimas pueden catalizar una reacción química. El mecanismo catalítico de una enzima se basa en el estudio de la cinética y de la dinámica química que tiene lugar dentro de una reacción. (Lodeiro, 2015, pp. 156-161)

Según Lodeiro (2015, p. 158), la cinética enzimática estudia la velocidad de las reacciones catalizadas por enzimas, esto permite conocer información sobre la especificidad de la enzima y el mecanismo de la reacción catalizada para ello no es necesario purificar o aislar la enzima. (Lodeiro, 2015, pp. 156-161)

Establecer las condiciones óptimas de variables como pH, temperatura, presencia de cofactores, etc., es fundamental para llevar a cabo la reacción enzimática y se utilizan concentraciones saturantes de sustrato. La velocidad de una reacción enzimática puede calcularse ya sea por la aparición de los productos o la desaparición de los reactivos. (Parque científico de Madrid, 2010). La reacción enzimática se representa de la siguiente manera:



2.2.2. Gestión ambiental de leche contaminada

Las actividades industriales asociadas con el sector del servicio alimentario, como resulta ser el de los lácteos, trae consigo varios problemas de impacto medioambiental, que son de vital importancia considerar para el desarrollo sustentable y sostenible de este sector; jugado un rol fundamental las medidas de prevención y control ambiental que ofrece una estrategia de gestión de Producción Limpia. (Alaña, Capa and Sotomayor, 2016, p. 257)

La leche cruda es un producto ampliamente consumido, por tanto, se espera cumpla con parámetros de calidad e inocuidad, pero esto no es siempre posible pues al tratarse de un producto fácilmente contaminable sobre todo a nivel microbiológico y químico (residuos de antibióticos), genera problemas tanto en: salud pública, industria de procesamiento de subproductos lácteos e incluso llegar a decrecer el consumo y comercialización de la misma. (Uguña, 2010, p.39)

Actualmente hay una creciente preocupación por los temas ambientales y en el sector agrícola ganadero hay un gran repunte en la aplicación de una producción más limpia, ya que son productos de gran demanda como es el caso de la carne y la leche. (Uguña, 2010, p.42)

Estos sectores producen una alta cantidad de efluentes como residuos de la producción láctea principalmente cuando la leche no cumple con los requisitos de calidad establecidos por la normativa INEN y debe ser desechado al medio ambiente (agua o suelo) sin un tratamiento previo, provocando problemas ambientales. (Paz, 2020, p.47)

2.2.3. Modelación y simulación de reacciones químicas

De acuerdo a Terregrosa (2013, p.48), el modelado de las reacciones químicas implica la descripción de las propiedades de la reacción para la construcción de la ecuación matemática, la cual puede predecir un comportamiento dinámico o estático del sistema, donde el conocimiento de todos los parámetros implicados en la reacción permiten su simulación. (Terregrosa, 2013, pp.48-50)

Huidobro and Aguilar (2017, p.76) definen simulación como: experimentos digitales que emplean una técnica numérica. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos que se apoyan en paquetes informáticos que representan procesos reales. Entre ellos se tiene a la modelación y simulación de procesos, realizados con programas específicos, los cuales permiten predecir y simular procesos mediante modelos simples y fáciles de comprender y describen el comportamiento de sistemas a través del tiempo. (Bermúdez and Carreño, 2011, p. 61)

La simulación de reacciones químicas es una herramienta eficaz y efectiva para el análisis, elaboración de nuevos productos y procesos, así también para generar una cultura de cuidado al medio ambiente a través de los resultados obtenidos en sus simulaciones. (Sierra et al., 2014, p. 83)

2.2.3.1. MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory), es un entorno muy sencillo de utilizar, emplea un lenguaje de alto nivel con programación propia y entorno de desarrollo integrado que provee facilidades de cálculos numérico, programación y visualización. (Ramos, 2012, p.31)

Las capacidades de MATLAB facilita el estudio de sistemas y procesos, a través del diseño y solución de problemas matemáticos, estadísticos, informáticos, desarrollo de aplicaciones, optimización de procesos, diseño y análisis de sistemas, solamente con el empleo de las cajas de herramientas que posee el software. (Ramos, 2012, p.70)

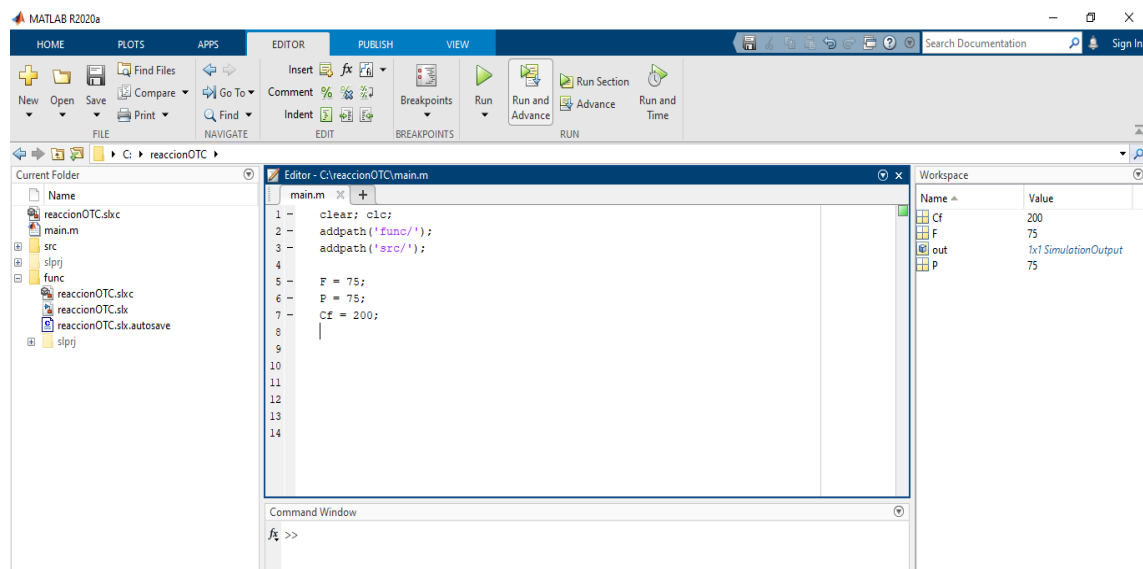


Figura 1-1. Entorno de MATLAB

Fuente: Ramos, Evelyn, 2022

El entorno de trabajo de MATLAB, similar al de otras aplicaciones profesionales de Windows, ya que es muy gráfico e intuitivo. La ejecución de instrucciones u obtención de información se lleva a cabo a través de interfaces del software que se compone de varias ventanas entre las que se tiene:

- Escritorio o área de trabajo.
- Interfaces gráficas de Usuario. (Manejo y Administración de archivos).

- c. Barra de Menú
- d. Barra de herramientas
- e. Espacio de Trabajo (en esta ventana aparecerán los tamaños de las variables)
- f. Historia de Comandos. (visualizan todas las instrucciones)
- g. Ventana de Comandos (Ingresan datos y se recibe resultados)
- h. Botón de Inicio

Entre las características de MATLAB se resaltan:

- a. Elementos básicos del escritorio de MATLAB (Ejecutar MATLAB)
- b. Command Windows: Donde se ejecutan todas las instrucciones y programas. Se escribe la instrucción o el nombre del programa y se da Enter.
- c. Command History: Muestra los últimos comandos ejecutados en Command Windows. Se puede recuperar el comando haciendo doble click.
- d. Current directory: Situarse en el directorio donde se va a trabajar.
- e. Help: Ayuda de MATLAB. (también se puede usar desde Command Windows).
- f. Workspace: Para ver las variables que se están usando y sus dimensiones (si son matrices)
- g. Editor del MATLAB: Todos los ficheros de comandos MATLAB deben de llevar la extensión .m, tal como se muestra en la figura 2-1 .(Vivanco 2013)

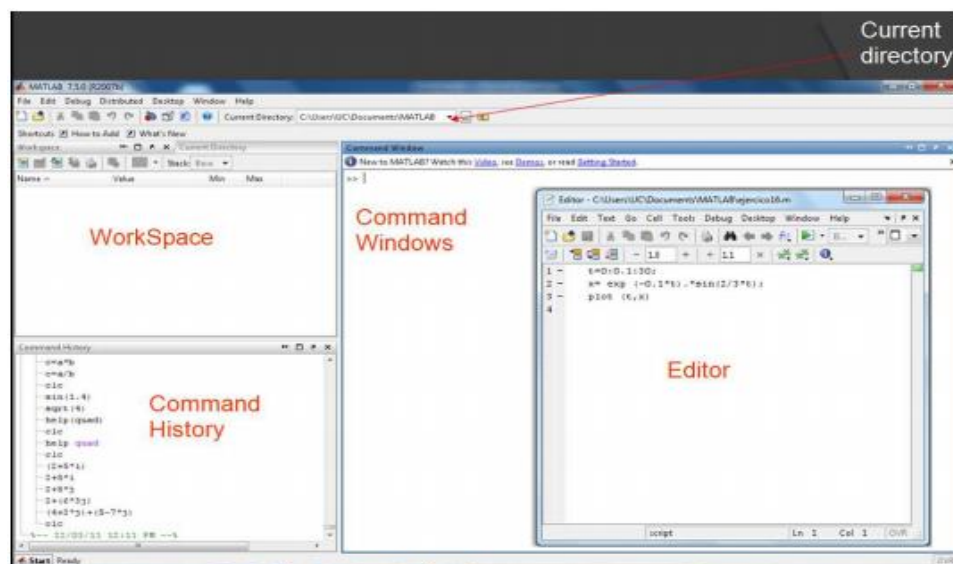


Figura 2-1. Características generales de MATLAB

Fuente: VIVANCO, 2013.

2.2.3.2. Simulink

Es una herramienta para modelar y simular sistemas dinámicos, sean estos lineales, no lineales, en tiempo discreto, en tiempo continuo, su principal función es facilitar la creación de modelos a simular, a partir de bloques de un texto, luego de ingresar los datos, se genera el modelo y se puede visualizar la simulación. (Automatización y Control 2013)

El programa Simulink presenta ventajas frente a otros programas matemáticos que podrían ser también utilizados para resolver las ecuaciones de los sistemas, tales como un entorno interactivo y un conjunto de librerías con bloques personalizables que permiten simular, implementar y probar una serie de sistemas variables con el tiempo. (Vivanco, 2013, p.86)

Además, Simulink está integrado en Matlab y por ello es posible tener acceso a una amplia gama de herramientas que permiten desarrollar algoritmos, analizar y visualizar simulaciones. (Vivanco, 2013, p. 87)

2.2.3.3. *Ventajas de un proceso de modelación y simulación*

De acuerdo con estudios realizados por Arciniega (2011, p.72), indica que un proceso de modelamiento y simulación presenta los siguientes beneficios:

- a. Es una herramienta para conocer la predicción de las variaciones en los procesos o sistemas sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad.
- b. Permite observar el comportamiento del modelo generado y mejorar el conocimiento del sistema a través de diferentes escenarios.
- c. Permite la toma de decisiones al obtener datos predictivos del sistema o proceso.
- d. La simulación resulta más económica que llevar el proceso a la realidad.
- e. Los sistemas o procesos simulados pueden llevarse a cabo en diferentes escenarios hasta alcanzar óptimas condiciones para el proceso.
- f. Las simulaciones pueden generar soluciones a sistemas complejos.
- g. La aplicación de estos paquetes de software son mucho más sencillos. (Erazo 2018)

2.2.3.4. *Fases para una modelación*

Brito et al. (2011), en su estudio establecen las etapas para llevar a cabo un modelamiento matemático y deben cumplir:

- a. Identificación. - Es la determinación de los componentes y relaciones, así como de las ecuaciones matemáticas $f()$ que representan el modelo.

- b. Calibración. - Es la determinación de los valores de los parámetros; bien midiéndolos en el campo o estimándolos mediante algún modelo empírico.
- c. Validación. - Es la obtención de series de las variables de estado y salida en un tiempo pasado para su comparación con valores reales de las mismas. El objetivo es evaluar el error cometido por el modelo y determinar si es asumible.
- d. Simulación. - Obtención de series de las variables de estado y de salida en un tiempo futuro a partir de series simuladas de variables de entrada.
- e. Análisis de sensibilidad. - Simulación, pero alterando los valores de los parámetros para determinar la influencia de cada uno de ellos en los resultados aportados por el modelo. (Brito et al., 2011, p. 94)

2.2.4. *Uso de lacasa para degradación de oxitetraciclina*

Alsager et al. (2018, p. 106), demuestra que para eliminar antibióticos en leche se puede usar adsorbentes como carbón activado o resinas funcionales, pero solo pueden remover cantidades muy pequeñas y depende del tamaño de partícula del adsorbente luego de varias horas de contacto y solamente se consigue separar la molécula de antibiótico más no degradarla.

Paz (2020, p. 45), en su estudio valoró la efectividad de la degradación de antibióticos en leche agregando la enzima lacasa de *Trametes versicolor* mediante la aplicación de pretratamientos como: pretratamiento térmico o extracción de grasa y fraccionamiento por acidificación de la leche descremada para la obtención de suero, afirmando así que la concentración de oxitetraciclina disminuye al ponerse en contacto la leche cruda con la enzima lacasa en diferentes concentraciones. (Paz, 2020, pp. 41-48).

Por otra parte, los beneficios de emplear una enzima catalizadora en una reacción, lo resalta Cardona (2020) en su investigación donde indica que “al igual que otros catalizadores, las enzimas no se consumen en las reacciones que catalizan”, sin embargo, la actividad catalítica puede verse afectada debido a la presencia de agentes desnaturizantes como el calor, la presión, los valores de pH extremos, altas concentraciones de sales, detergentes y agentes caotrópicos.

Así mismo, Paz (2020, p. 58), en su investigación, previo a añadir la lacasa a las muestras, observó que los valores de concentración de oxitetraciclina luego de los pretratamientos se presentaron en

valores aproximados de 200, 188, 198 y 49 μM en la leche cruda sin tratamiento, leche tratada térmicamente, leche descremada y suero, respectivamente.

Los resultados experimentales obtenidos en la investigación de Paz (2020, p. 65), que son la base para el modelamiento de la reacción química para el tratamiento de oxitetraciclina empleando lacasa, se muestran en la Tabla 1-2, donde se presentan los valores medios de oxitetraciclina presente en las muestras de leche cruda y su evolución a lo largo de 6 horas en presencia de diferentes concentraciones de lacasa.

A lo largo del tiempo de degradación, los análisis mostraron una reducción gradual y significativa de la concentración de antibiótico en las muestras de leche cruda, pasteurizadas y descremadas, de entre un 74 y 76% de reducción a las 6 horas de la aplicación de la lacasa. Sin embargo, en las muestras de suero, a pesar de que el pretratamiento redujo significativamente la cantidad de antibiótico, el efecto de la lacasa en estas muestras casi no degradó la OTC. (Paz, 2020, p. 67)

Los resultados (tabla 1-2) del estudio de Paz (2020), fueron:

- a. Usar el doble o triple la concentración de lacasa a lo largo de las 6 horas de estudio no aumenta la velocidad de degradación de la OTC en las muestras de leche o suero.
- b. Los pretratamientos térmicos y descremados de la leche no favorecen la degradación de la OTC por parte de la lacasa, en comparación con la leche cruda. Así mismo, la lacasa, en cualquiera sus concentraciones, reduce muy levemente la concentración de OTC en el suero.
- c. A medida que transcurrió el tiempo de análisis establecido, la concentración de oxitetraciclina en leche disminuyó con el incremento de la concentración de enzima lacasa. (Paz, 2020, p. 68)

En base a las conclusiones de la investigación de Paz (2020, p. 81), el modelamiento de la reacción química para el tratamiento de oxitetraciclina empleando lacasa, tomará en cuenta las siguientes consideraciones:

- a. La ecuación química se modelará en base a la degradación de OTC en la leche cruda.
- b. La degradación de OTC en leche cruda se ajustará a la cinética de primer orden.
- c. La ecuación química contemplará la variación de concentración de OTC en leche cruda a una concentración constante de lacasa (0,1mg/L).
- d. Se considera la enzima lacasa como una enzima catalizadora, que de acuerdo a los estudios experimentales demostrados por Paz (2020) y sostenidos por las

investigaciones de National Human Genome Research Institute ratifican que las enzimas catalizadoras (lacasa) no se destruyen durante la reacción.

- e. La temperatura de la leche cruda con antibiótico es de 20°C con un pH=6.7, datos experimentales obtenidos de las investigaciones de Paz (2020, p.81).

Tabla 1-2: Valores medios de concentración de oxitetraciclina (μM) en muestras de leche¹, con presencia de diferentes concentraciones de lacasa durante 6 horas de contacto.

Pretratamiento ¹	Tiempo								
	0	Concentración de lacasa ²	1	2	3	4	5	6	EEM
Leche cruda	200,00	^a Baja	160,48 ^{bz}	128,77 ^{cz}	100,32 ^{dz}	82,91 ^{ez}	62,52 ^{fz}	53,36 ^{gz}	10,10
	200,00	^a Media	150,90 ^{by}	126,25 ^{cy}	98,30 ^{dy}	79,69 ^{ey}	63,31 ^{fz}	50,30 ^{gy}	9,75
	200,00	^a Alta	148,64 ^{bx}	125,83 ^{cy}	95,81 ^{dx}	79,17 ^{ey}	60,80 ^{fy}	49,80 ^{gx}	9,76
	0,00	EEM	1,82	0,58	0,69	0,62	0,44	0,56	
Leche tratada Térmicamente	188,28	^a Baja	157,12 ^b	126,60 ^{cz}	98,72 ^{dz}	80,13 ^{ez}	60,75 ^{fz}	50,71 ^{gz}	9,79
	182,87	^a Media	156,14 ^b	123,04 ^{cy}	96,87 ^{dzy}	76,18 ^{ey}	59,81 ^{fy}	48,89 ^{gy}	9,71
	181,52	^a Alta	155,70 ^b	122,35 ^{cy}	96,05 ^{dy}	75,31 ^{ey}	58,96 ^{fy}	48,08 ^{gy}	9,72
	2,06	EEM	0,38	0,68	0,50	0,77	0,30	0,41	
Leche descremada	198,92	^a Baja	155,29 ^b	122,37 ^{cz}	96,34 ^{dz}	75,75 ^{ez}	59,48 ^{fz}	49,59 ^{gz}	10,08
	199,35	^a Media	154,55 ^b	121,51 ^{czy}	95,40 ^{dy}	74,76 ^{ezy}	59,46 ^{fz}	48,56 ^{gy}	10,11
	199,11	^a Alta	153,82 ^b	120,51 ^{cy}	94,28 ^{dx}	73,62 ^{ey}	57,34 ^{fy}	47,51 ^{gx}	10,19
	0,12	EEM	0,33	0,33	0,31	0,36	0,36	0,31	
Suero	49,18	^a Baja	48,34 ^{ab}	47,31 ^b	46,50 ^b	46,03 ^c	45,60 ^c	44,91 ^c	0,32
	49,29	^a Media	48,41 ^{ab}	47,35 ^{bc}	46,48 ^{cd}	46,05 ^{de}	45,51 ^{ef}	44,90 ^f	0,32
	49,37	^a Alta	48,49 ^a	47,42 ^b	46,78 ^{bc}	46,01 ^{cd}	45,35 ^{de}	44,82 ^e	0,34
	0,05	EEM	0,21	0,18	0,10	0,22	0,13	0,19	

² concentración de lacasa en leche o suero: 0,1 mg L⁻¹ (baja), 0,2 mg L⁻¹ (media) y 0,3 mg L⁻¹ (alta).

^{a-g} Letras diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticas entre medias (P < 0,05).

^{z-x} Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticas entre medias (P < 0,05).

³ EEM: error estándar de la media.

Fuente: PAZ, 2020

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación

3.1.1. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación fue de tipo descriptivo ya que el propósito fundamental es establecer un modelo matemático de la reacción química del tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina a través de la lacasa, para el modelamiento de la reacción química se empleó los softwares Matlab y Simulink, lo que permitió comprobar la funcionalidad del modelo propuesto para esta investigación.

Posteriormente se llevó a cabo un análisis estadístico empleando MINITAB, donde se interpretó cada uno de los resultados obtenidos como respuestas de las hipótesis planteadas.

3.1.2. Método de investigación

Se aplicó un método de investigación descriptiva, que es una técnica que intenta recopilar información cuantificable para ser utilizada en el análisis estadístico de la muestra de población, por tanto, se enfocó en la búsqueda de información bibliográfica y revisión de base de datos de estudios previos, realizados sobre el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina empleando lacasa.

3.1.3. Enfoque de la investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo que se basó en la recolección de datos para probar las hipótesis con base a la medición numérica y el análisis estadístico a través de MINITAB, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías, es así que se fundamentó en estudios existentes con respecto a la eliminación de antibiótico en leche mediante el uso de lacasa, convirtiéndose en guías para llevar a cabo la investigación propuesta.

3.1.4. Alcance investigativo

La presente investigación modeló la reacción química para el tratamiento de leche contaminada con oxitetraciclina en diferentes concentraciones, con la finalidad de comprobar la efectividad de la enzima lacasa sobre este antibiótico, finalmente los porcentajes de remoción de oxitetraciclina

obtenidos mediante el modelamiento en MATLAB y la simulación en el software SIMULINK fueron analizados estadísticamente a través de MINITAB y se compararon con los límites permisibles de antibiótico en leche, establecidos por el CODEX ALIMENTARIUS.

3.1.5. Población de estudio

Para la simulación de la reacción química, se ha establecido 30 datos aleatorios, de leche cruda contaminada con oxitetraciclina en diferentes concentraciones que oscilan entre 200 μM y 300 μM , con una concentración de lacasa de 0,1 mg/L, para un volumen de 75 L de leche contaminada y un tiempo de contacto de 26 horas.

3.2. Parámetros de las variables operacionales

El modelamiento y simulación de la reacción química para el tratamiento de leche cruda contaminada con OTC, está basado en los siguientes parámetros: 75 litros de volumen, 293,15°K y 26 horas, lo cual fue utilizado para cada una de las concentraciones de OTC que se definen en la siguiente tabla:

Tabla 1-3: Parámetros para el modelamiento y simulación de la reacción química.

C ₀ (ug/L)	200	220	207	226	253	265	286	300	259	233
	274	247	203	209	216	248	295	267	297	228
	206	224	277	221	281	208	292	262	256	235

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

Dónde:

C₀: Concentración inicial (ug/L)

3.3. Modelamiento de la reacción química de oxitetraciclina y lacasa.

3.3.1. Balance de masa de la reacción de OTC

El balance de masa de la reacción de OTC se realizó en base a las siguientes consideraciones:

- La reacción se lleva a cabo en un reactor BATCH con agitación ($V=75\text{L}$, pero puede variar conforme a la necesidad del productor) que implica que la enzima lacasa que ingresa al tanque se mezcla instantáneamente con la oxitetraciclina presente en la leche cruda.
- Debido a la agitación intensa, todas las propiedades del fluido como la concentración de oxitetraciclina, son homogéneas en todo el volumen del tanque.
- La concentración del OTC a la salida del tanque es la misma que la existente dentro de este.
- El volumen es constante, ya que el flujo volumétrico del alimentado es igual al flujo volumétrico del fluido que sale del tanque.

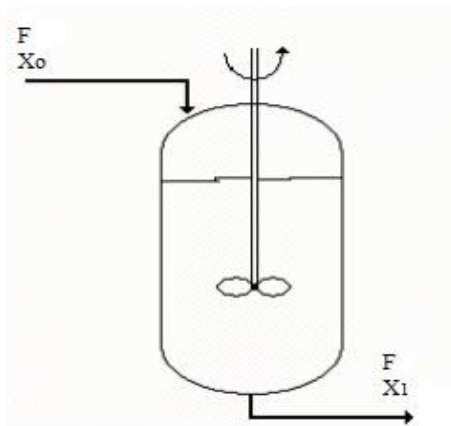


Figura 1-3. Reactor BATCH

Fuente: Tecnología química, 2009

El balance de masa de leche contaminada con OTC, en estado estacionario dentro de un reactor BATCH (figura 1-3), está dado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{acumulada} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{ENTRANTE} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{SALIENTE} \end{array} \right\} \pm \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{REACCIONANTE} \end{array} \right\}$$

En un reactor BATCH no hay flujo de entrada ni de salida, por tanto, los 2 primeros términos de la ecuación son cero, es así que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{acumulada} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{ENTRANTE} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{SALIENTE} \end{array} \right\} \pm \left\{ \begin{array}{l} \text{Tasa de materia} \\ \text{REACCIONANTE} \end{array} \right\}$$

Sustituyendo por términos se tiene:

$$V \frac{dC}{dt} = 0 - 0 - kC^n V$$

Dónde:

V: volumen del reactor

k: constante de velocidad específica

C: concentración de OTC

n: orden de reacción

Considerando una cinética de primer orden (n=1), se simplifica el término del volumen de ambos lados de la ecuación, quedando así:

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = -k \int_0^t dt$$

Resolviendo la integral se obtiene la siguiente ecuación:

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt$$

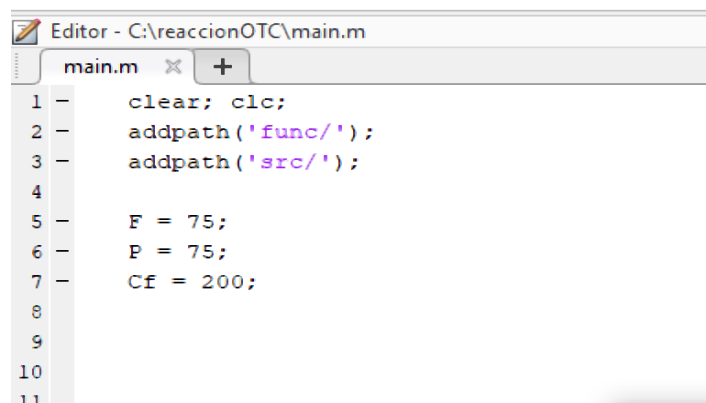
$$C = C_0 e^{-kt} \quad (10)$$

3.3.2. Cinética de degradación de OTC

El orden de reacción que sigue la degradación de OTC en leche cruda se ajusta a la cinética de primer orden que está dada por la ecuación del balance de masa (Ecuación 10), se tiene así que:

$$[C] = [C_0]e^{-k_1 t}$$

Esta ecuación es modelada en MATLAB de la siguiente manera:



```

Editor - C:\reaccionOTC\main.m
main.m x +
1 - clear; clc;
2 - addpath('func/');
3 - addpath('src/');
4
5 - F = 75;
6 - P = 75;
7 - Cf = 200;
8
9
10
11

```

Figura 2-3. Editor de MATLAB para la reacción de OTC

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

Dónde:

F: Alimentación

P: Salida

C_f: Concentración de la alimentación.

Se procesa los datos ingresados mediante la opción “RUN” y se actualizan las variables que se están usando y sus dimensiones en Workspace

Workspace	
Name ▲	Value
Cf	200
F	75
P	75

Figura 3-3. Workspace de MATLAB para la reacción de OTC

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

Esta acción se realizó para el cambio de cada concentración inicial de OTC para la variable C_f , durante un tiempo de contacto.

Esta información es la base para el proceso de simulación en SIMULINK, donde la reacción está diseñada de la siguiente manera:

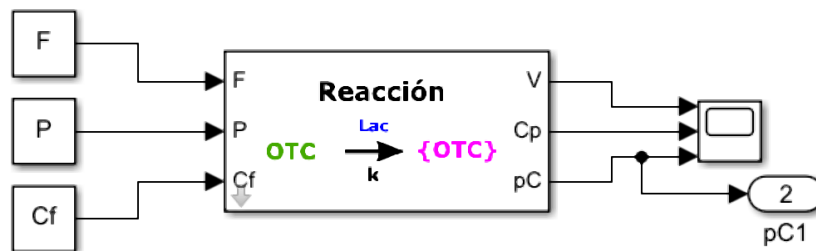


Figura 4-3. Simulación de la reacción de OTC en Simulink

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

Y el subsistema interno de la simulación de la reacción tiene como puntos de entrada la alimentación inicial, la alimentación final y la concentración de la alimentación inicial y los datos de salida son volumen de salida, concentración final y el porcentaje de la concentración final.

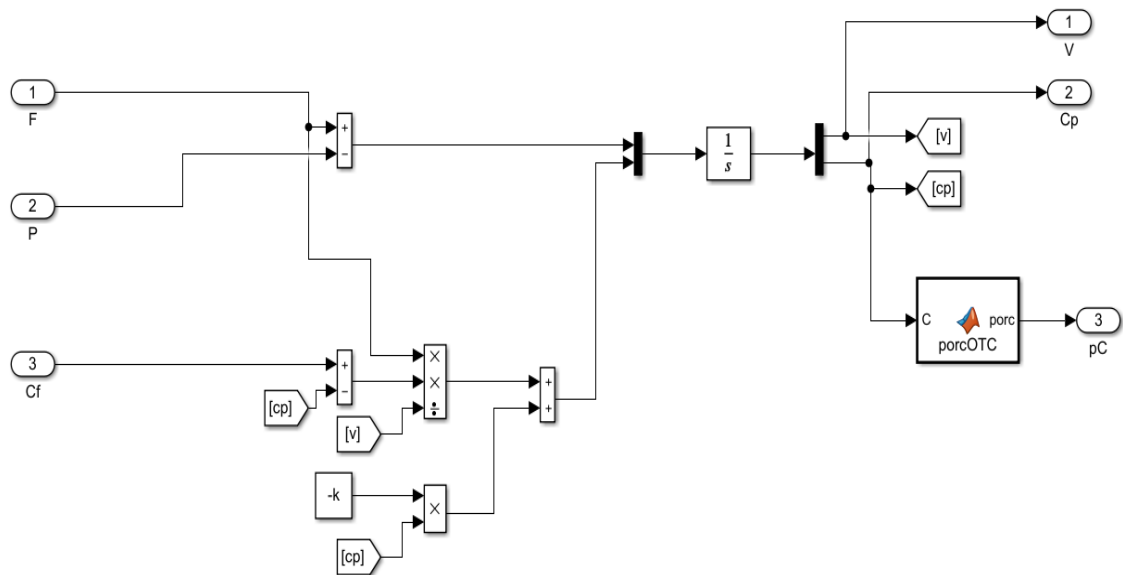


Figura 5-3. Subsistema de la reacción de OTC en Simulink

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

Posteriormente los valores de concentración inicial de OTC se ingresan en el bloque de parámetros, para lo cual debe seleccionar el subsistema de la reacción y aparece la siguiente pantalla:

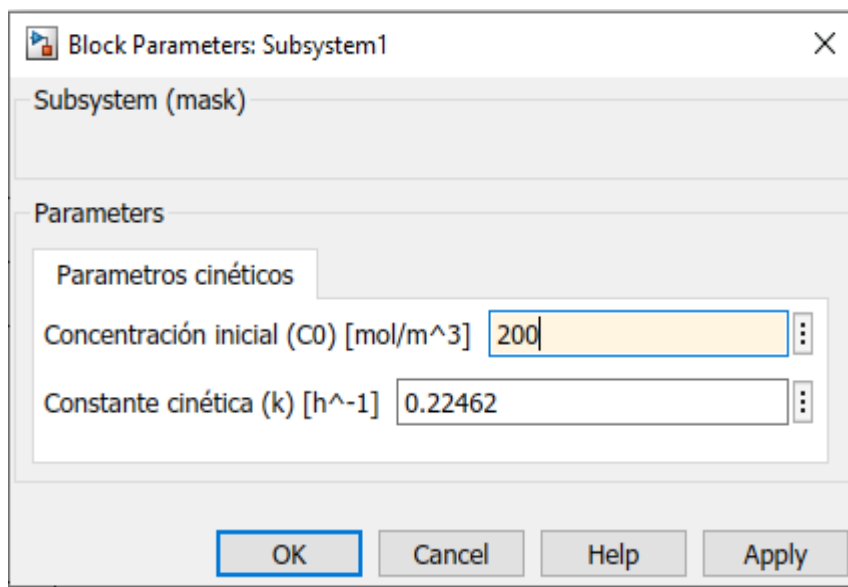


Figura 6-3. Bloque de parámetros cinéticos de la reacción de OTC en Simulink

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

Para cambiar el tiempo de contacto de OTC y la lacasa, se selecciona la opción simulación y stop time en donde se ingresa el tiempo deseado para la simulación.

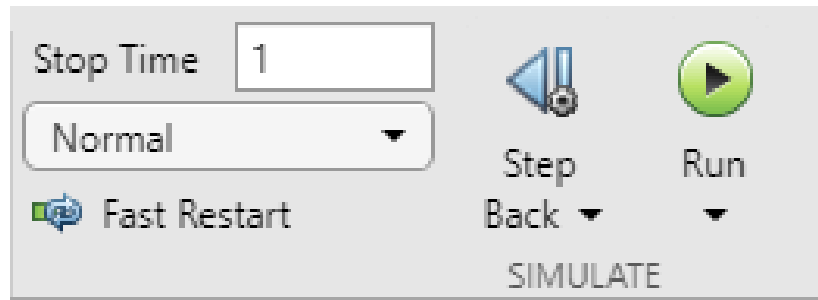


Figura 7-3. Tiempo de contacto de la reacción de OTC en Simulink

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

La respuesta de salida (concentración final de OTC) se obtiene al seleccionar la opción SCOPE donde se va a presentar la siguiente pantalla con los datos de la simulación.

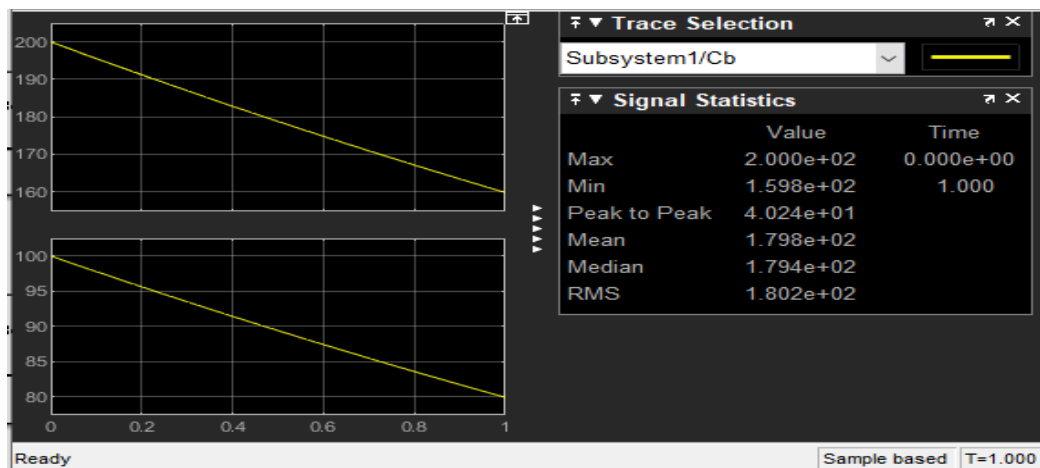


Figura 8-3. Respuesta de salida de la reacción de OTC a 200 μM a la hora=1 en Simulink.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

El mismo procedimiento se realiza para las diferentes concentraciones y tiempo de contacto establecidos para este estudio.

Por tanto, la cinética de reacción de las 30 concentraciones de OTC con la lacasa, durante cada hora de contacto hasta alcanzar las 26 horas, dieron como resultado las concentraciones que se indican en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Valores de concentración de oxitetraciclina (μM) en muestras de leche cruda, con presencia de diferentes concentraciones de oxitetraciclina durante 26 horas de contacto.

n	Concentración de oxitetraciclina (μM)	Tiempo (h)																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	200	159,80	127,6	101,9	81,44	65,05	51,97	41,51	33,16	5,50	4,39	3,51	2,80	2,24	1,79	1,43	1,14	0,91	0,73	0,58
2	203	162,20	129,5	103,5	82,66	66,03	52,75	42,13	33,66	5,58	4,46	3,56	2,85	2,27	1,82	1,45	1,15	0,92	0,74	0,59
3	206	164,60	131,50	105	83,88	67,01	53,53	42,76	34,16	5,66	4,52	3,61	2,89	2,31	1,84	1,47	1,18	0,93	0,75	0,60
4	207	165,40	132,10	105,50	84,29	67,33	53,79	42,96	34,32	5,69	4,55	3,63	2,90	2,32	1,85	1,48	1,18	0,94	0,75	0,60
5	208	166,20	132,70	106	84,70	67,66	54,05	43,17	34,49	5,72	4,57	3,65	2,92	2,33	1,86	1,49	1,19	0,95	0,76	0,61
6	209	167	133,40	106,50	85,10	67,98	54,30	43,38	34,65	5,74	4,59	3,67	2,93	2,34	1,87	1,49	1,19	0,95	0,76	0,61
7	216	172,50	137,80	110,10	87,95	70,26	56,12	44,83	35,81	5,94	4,74	3,79	3,03	2,42	1,93	1,54	1,23	0,98	0,79	0,63
8	220	175,70	140,40	112,10	89,58	71,56	57,16	45,66	36,48	6,05	4,83	3,86	3,08	2,46	1,97	1,57	1,26	1,00	0,80	0,64
9	221	176,50	141	112,70	89,99	71,88	57,42	45,87	36,64	6,08	4,85	3,88	3,09	2,47	1,98	1,58	1,26	1,00	0,80	0,64
10	224	178,90	142,90	114,20	91,21	72,86	58,20	46,49	37,14	6,16	4,92	3,93	3,14	2,51	2,00	1,60	1,28	1,02	0,82	0,65
11	226	180,50	144,20	115,20	92,02	73,51	58,72	46,91	37,47	6,21	4,96	3,96	3,17	2,53	2,02	1,61	1,29	1,03	0,82	0,66
12	228	182,10	145,50	116,20	92,84	74,16	59,24	47,32	37,80	6,27	5,00	4,00	3,19	2,55	2,04	1,63	1,30	1,04	0,83	0,66
13	233	186,1	148,7	118,8	94,87	75,79	60,54	48,36	38,63	6,41	5,12	4,09	3,27	2,61	2,08	1,66	1,33	1,06	0,85	0,68
14	235	187,70	150	119,80	95,69	76,44	61,06	48,78	38,96	6,46	5,16	4,12	3,29	2,63	2,10	1,68	1,34	1,07	0,86	0,68
15	247	197,30	157,60	125,90	100,60	80,34	64,18	51,27	40,95	6,79	5,42	4,33	3,46	2,77	2,21	1,76	1,41	1,13	0,89	0,72
16	248	198,10	158,30	126,40	101	80,67	64,44	51,47	41,12	6,82	5,45	4,35	3,48	2,78	2,22	1,77	1,42	1,13	0,90	0,72
17	253	202,10	161,40	129,00	103,00	82,29	65,74	52,51	41,95	6,96	5,56	4,44	3,55	2,83	2,26	1,81	1,44	1,15	0,92	0,73
18	256	204,50	163,40	130,50	104,20	83,27	66,52	53,14	42,45	7,04	5,62	4,49	3,59	2,87	2,29	1,83	1,46	1,17	0,93	0,74

19	259	206,90	165,30	132,00	105,50	84,24	67,30	53,76	42,94	7,12	5,69	4,54	3,63	2,90	2,32	1,85	1,48	1,18	0,94	0,75
20	262	209,30	167,20	133,60	106,70	85,22	68,08	54,38	43,44	7,20	5,75	4,59	3,67	2,93	2,34	1,87	1,49	1,19	0,95	0,76
21	265	211,70	169,10	135,10	107,90	86,20	68,86	55,00	43,94	7,29	5,82	4,65	3,71	2,97	2,37	1,89	1,51	1,21	0,96	0,77
22	267	213,30	170,40	136,10	108,70	86,85	69,38	55,42	44,27	7,34	5,86	4,68	3,74	2,99	2,39	1,92	1,52	1,22	0,97	0,78
23	274	218,90	174,80	139,70	111,60	89,12	71,19	56,87	45,43	7,53	6,02	4,81	3,84	3,07	2,45	1,96	1,56	1,25	0,99	0,79
24	277	221,30	176,80	141,20	112,80	90,10	71,97	57,49	45,93	7,62	6,08	4,86	3,88	3,10	2,48	1,98	1,58	1,26	1,00	0,80
25	281	224,50	179,30	143,20	114,40	91,40	73,01	58,32	46,59	7,73	6,17	4,93	3,94	3,15	2,51	2,00	1,60	1,28	1,02	0,81
26	286	228,50	182,50	145,80	116,50	93,03	74,31	59,36	47,72	7,86	6,28	5,02	4,00	3,20	2,56	2,04	1,63	1,30	1,04	0,83
27	292	233,30	186,30	148,80	118,90	94,98	75,87	60,61	48,41	8,03	6,41	5,12	4,09	3,27	2,61	2,09	1,67	1,33	1,06	0,85
28	295	235,70	188,20	150,40	120,10	95,95	76,65	61,23	48,91	8,11	6,48	5,18	4,13	3,30	2,64	2,11	1,68	1,35	1,07	0,86
29	297	237,20	189,50	151,40	120,90	96,61	77,17	61,65	49,24	8,17	6,52	5,21	4,16	3,33	2,66	2,12	1,70	1,35	1,08	0,86
30	300	239,60	191,40	152,90	122,20	97,58	77,95	62,27	49,74	8,25	6,59	5,26	4,20	3,36	2,68	2,14	1,71	1,37	1,09	0,87

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

3.4. Porcentaje de remoción de OTC

El porcentaje de remoción de OTC en leche cruda para cada hora de contacto, se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción OTC} = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100\% \quad (11)$$

Dónde:

C_0 : Concentración inicial de OTC

C : Concentración final de OTC

La tabla 3-2 muestra el porcentaje de remoción de OTC de cada concentración para un tiempo de contacto de hasta 26 horas.

Tabla 3-3: Porcentaje (%) de remoción de concentración de oxitetraciclina en muestras de leche cruda, con presencia de diferentes concentraciones de oxitetraciclina durante 26 horas de contacto.

Concentración de oxitetraciclina (μM)	Tiempo (h)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
200	20	36,2	49,05	59,28	67,475	74,015	79,245	83,42	97,250	97,805	98,245	98,600	98,880	99,105	99,285	99,430	99,545	99,635	99,710
203	20,099	36,207	49,015	60,17	67,473	74,015	79,246	83,419	97,251	97,803	98,246	98,596	98,882	99,103	99,286	99,433	99,547	99,635	99,709
206	20,097	36,165	49,029	61,06	67,471	74,015	79,243	83,417	97,252	97,806	98,248	98,597	98,879	99,107	99,286	99,427	99,549	99,636	99,709
207	20,097	36,184	49,034	61,355	67,473	74,014	79,246	83,420	97,251	97,802	98,246	98,599	98,879	99,106	99,285	99,430	99,546	99,638	99,710
208	20,096	36,202	49,038	61,65	67,471	74,014	79,245	83,418	97,250	97,803	98,245	98,596	98,880	99,106	99,284	99,428	99,543	99,635	99,707
209	20,096	36,172	49,043	61,95	67,474	74,019	79,244	83,421	97,254	97,804	98,244	98,598	98,880	99,105	99,287	99,431	99,545	99,636	99,708
216	20,139	36,204	49,028	64,025	67,472	74,019	79,245	83,421	97,250	97,806	98,245	98,597	98,880	99,106	99,287	99,431	99,546	99,634	99,708
220	20,136	36,182	49,045	65,21	67,473	74,018	79,245	83,418	97,250	97,805	98,245	98,600	98,882	99,105	99,286	99,427	99,545	99,636	99,709
221	20,136	36,199	49,005	65,505	67,475	74,018	79,244	83,421	97,249	97,805	98,244	98,602	98,882	99,104	99,285	99,430	99,548	99,638	99,710
224	20,134	36,205	49,018	66,395	67,473	74,018	79,246	83,420	97,250	97,804	98,246	98,598	98,879	99,107	99,286	99,429	99,545	99,634	99,710
226	20,133	36,195	49,027	66,99	67,473	74,018	79,243	83,420	97,252	97,805	98,248	98,597	98,881	99,106	99,288	99,429	99,544	99,637	99,708
228	20,132	36,184	49,035	67,58	67,474	74,018	79,246	83,421	97,250	97,807	98,246	98,601	98,882	99,105	99,285	99,430	99,544	99,636	99,711
233	20,129	36,18	49,013	69,065	67,472	74,017	79,245	83,421	97,249	97,803	98,245	98,597	98,880	99,107	99,288	99,429	99,545	99,635	99,708
235	20,128	36,170	49,021	69,655	67,472	74,017	79,243	83,421	97,251	97,804	98,247	98,600	98,881	99,106	99,285	99,430	99,545	99,634	99,711
247	20,121	36,194	49,028	73,2	67,474	74,016	79,243	83,421	97,251	97,806	98,247	98,599	98,879	99,105	99,287	99,429	99,543	99,640	99,709
248	20,121	36,169	49,032	73,5	67,472	74,016	79,246	83,419	97,250	97,802	98,246	98,597	98,879	99,105	99,286	99,427	99,544	99,637	99,710
253	20,119	36,206	49,012	75	67,474	74,016	79,245	83,419	97,249	97,802	98,245	98,597	98,881	99,107	99,285	99,431	99,545	99,636	99,711
256	20,117	36,172	49,023	75,9	67,473	74,016	79,242	83,418	97,250	97,805	98,246	98,598	98,879	99,105	99,285	99,430	99,543	99,637	99,711

259	20,116	36,178	49,035	76,75	67,475	74,015	79,243	83,421	97,251	97,803	98,247	98,598	98,880	99,104	99,286	99,429	99,544	99,637	99,710
262	20,115	36,183	49,008	77,65	67,473	74,015	79,244	83,420	97,252	97,805	98,248	98,599	98,882	99,107	99,286	99,431	99,546	99,637	99,710
265	20,113	36,189	49,019	78,55	67,472	74,015	79,245	83,419	97,249	97,804	98,245	98,600	98,879	99,106	99,287	99,430	99,543	99,638	99,709
267	20,112	36,180	49,026	79,15	67,472	74,015	79,243	83,419	97,251	97,805	98,247	98,599	98,880	99,105	99,281	99,431	99,543	99,637	99,708
274	20,109	36,204	49,015	81,2	67,474	74,018	79,245	83,420	97,252	97,803	98,245	98,599	98,880	99,106	99,285	99,431	99,544	99,639	99,712
277	20,108	36,173	49,025	82,1	67,473	74,018	79,245	83,419	97,249	97,805	98,245	98,599	98,881	99,105	99,285	99,430	99,545	99,639	99,711
281	20,107	36,192	49,039	83,3	67,473	74,018	79,246	83,420	97,249	97,804	98,246	98,598	98,879	99,107	99,288	99,431	99,544	99,637	99,712
286	20,105	36,189	49,021	84,75	67,472	74,017	79,245	83,315	97,252	97,804	98,245	98,601	98,881	99,105	99,287	99,430	99,545	99,636	99,710
292	20,103	36,199	49,041	86,55	67,473	74,017	79,243	83,421	97,250	97,805	98,247	98,599	98,880	99,106	99,284	99,428	99,545	99,637	99,709
295	20,102	36,203	49,017	87,45	67,475	74,017	79,244	83,420	97,251	97,803	98,244	98,600	98,881	99,105	99,285	99,431	99,542	99,637	99,708
297	20,135	36,195	49,024	88,05	67,471	74,017	79,242	83,421	97,249	97,805	98,246	98,599	98,879	99,104	99,286	99,428	99,545	99,636	99,710
300	20,133	36,200	49,033	88,9	67,473	74,017	79,243	83,42	97,250	97,803	98,247	98,600	98,880	99,107	99,287	99,430	99,543	99,637	99,710

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la cinética de degradación de OTC.

Los datos arrojados por MATLAB y Simulink muestran que existe una disminución en la concentración de OTC en leche cruda desde el tiempo 0 hasta el tiempo 26, en cada una de las concentraciones establecidas.

Mediante el análisis estadístico realizado en MINITAB, se determinó que la diferencia promedio de las concentraciones iniciales de leche cruda con OTC es mayor a la diferencia promedio de las concentraciones de leche con OTC, luego de haberse puesto en contacto con la lacasa durante 26 horas, lo que afirma la efectividad de la lacasa sobre concentraciones superiores a $200 \mu\text{M}$ y menores de $300 \mu\text{M}$ de OTC en leche cruda, obteniendo concentraciones dentro de los límites establecidos por la norma CODEX CX/MRL 2-2018.

De acuerdo a las siguientes gráficas obtenidas en Simulink, la concentración de OTC en leche cruda disminuye conforma aumenta el tiempo de contacto con la lacasa.

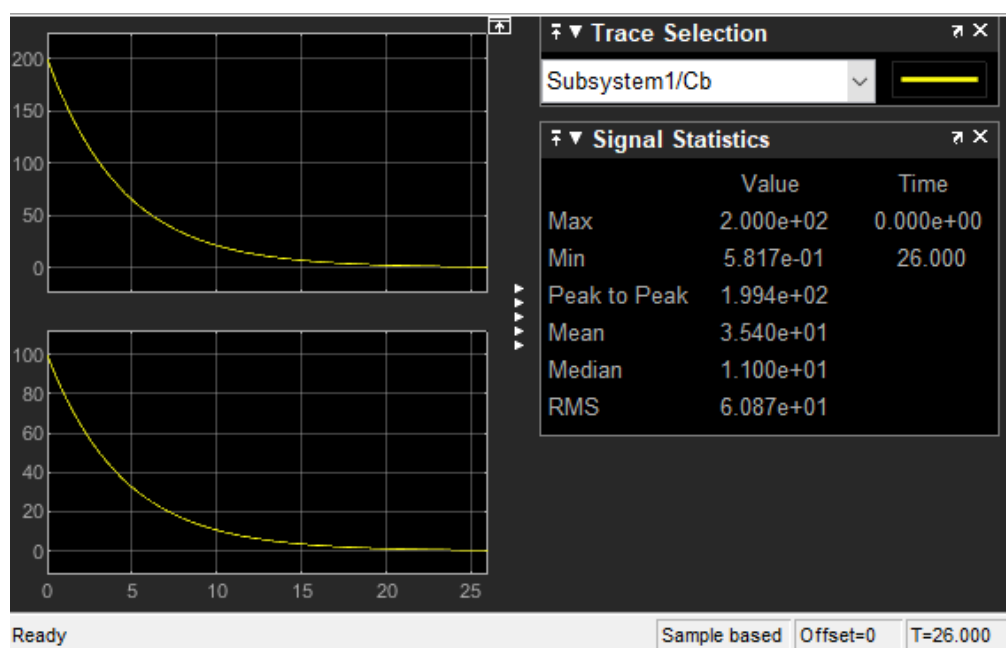


Gráfico 1-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para $200 \mu\text{M}$

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

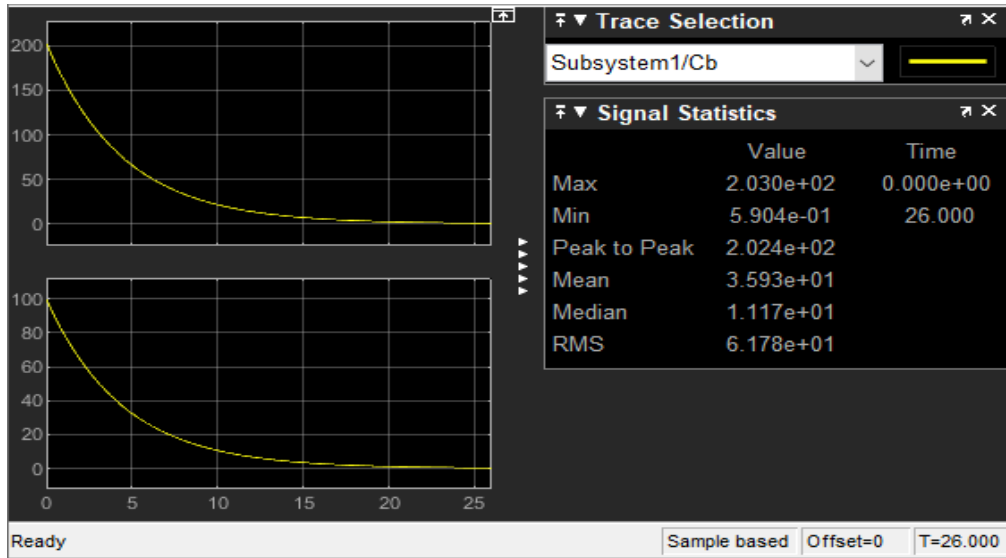


Gráfico 2-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 203 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

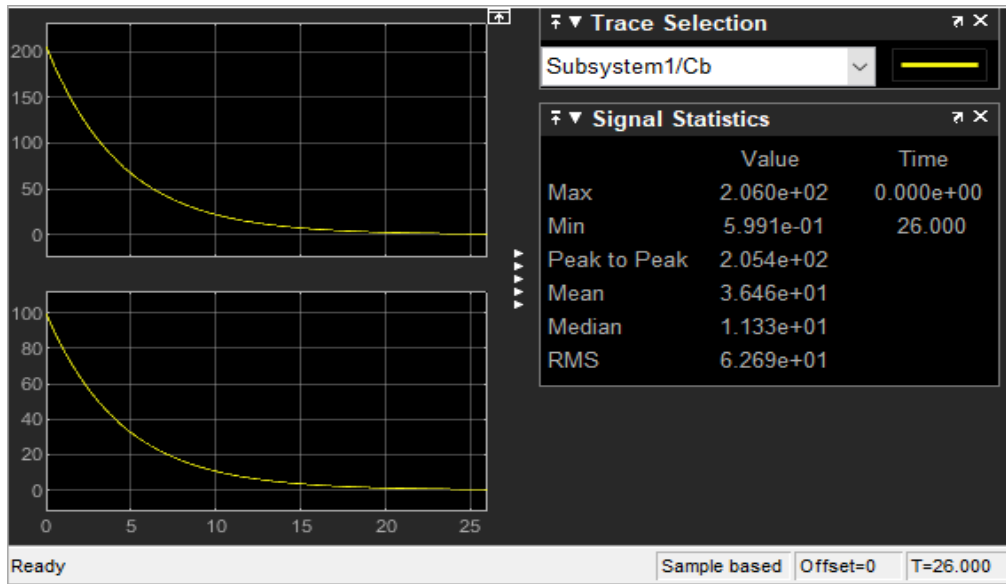


Gráfico 3-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 206 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

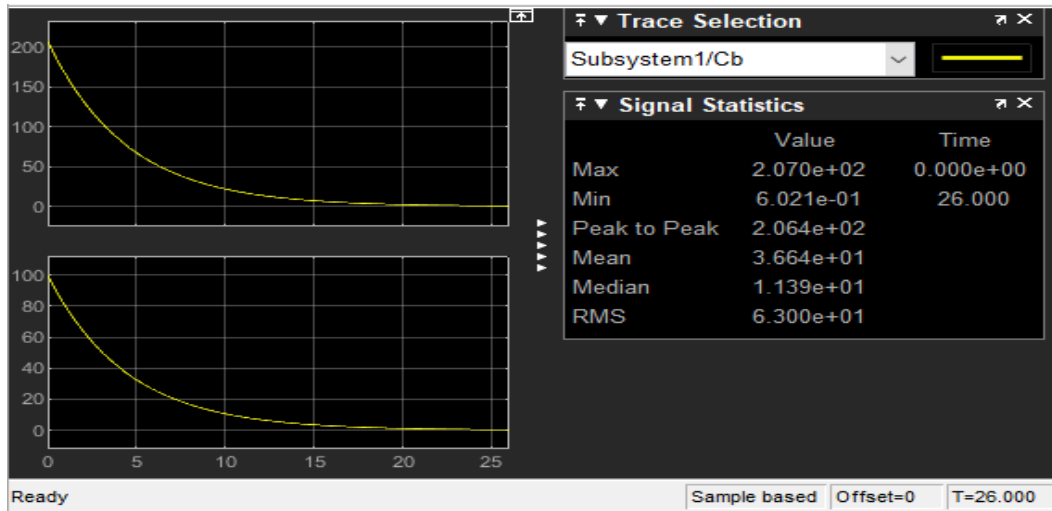


Gráfico 4-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 207 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

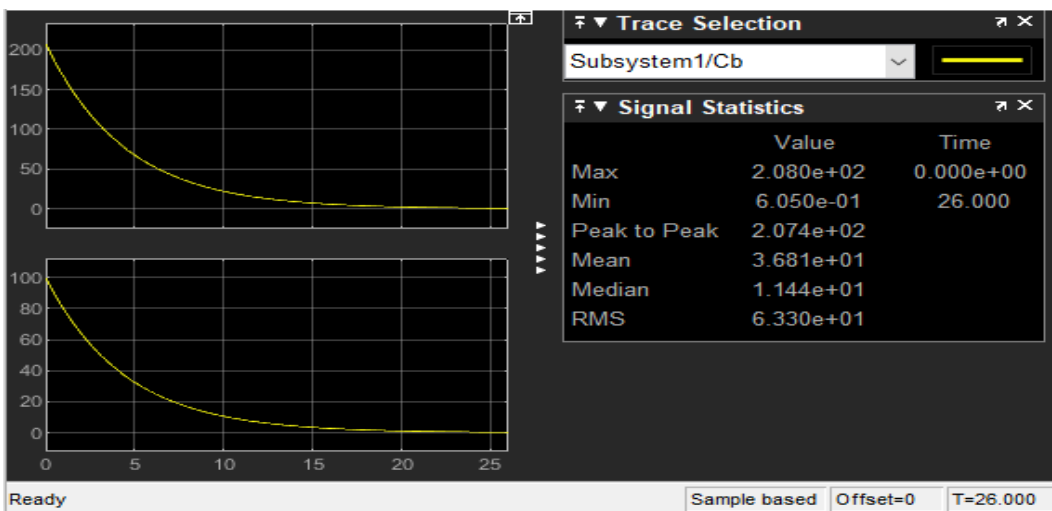


Gráfico 5-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 208 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

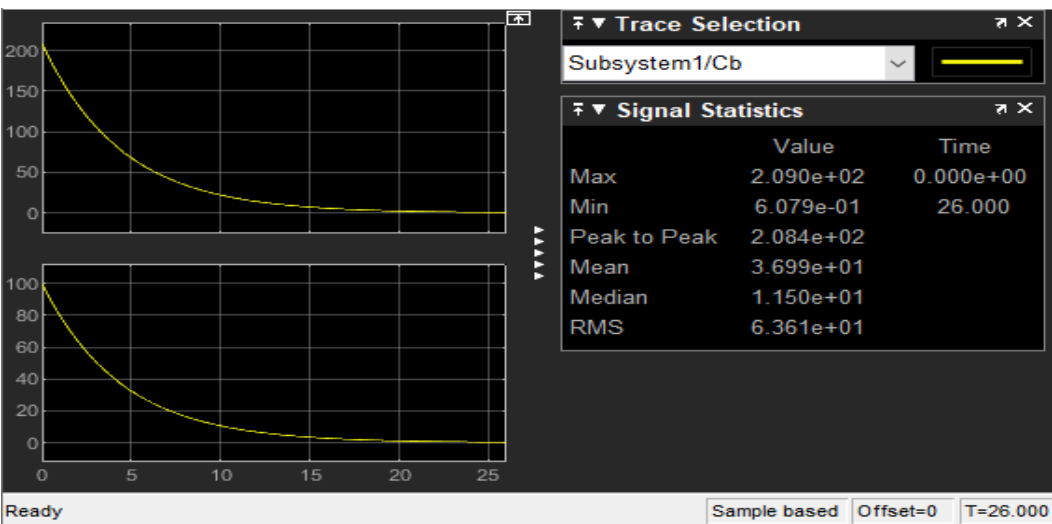


Gráfico 6-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 209 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

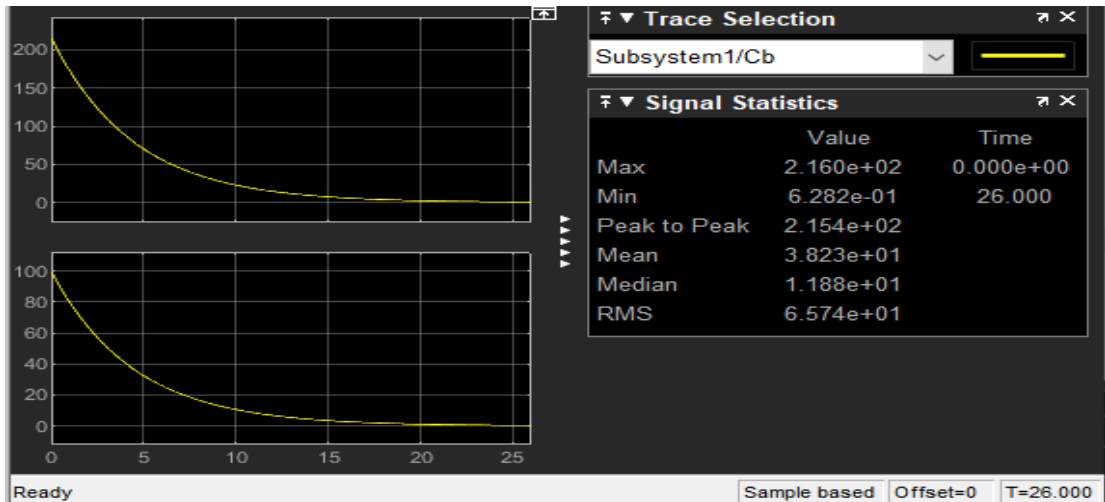


Gráfico 7-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 216 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

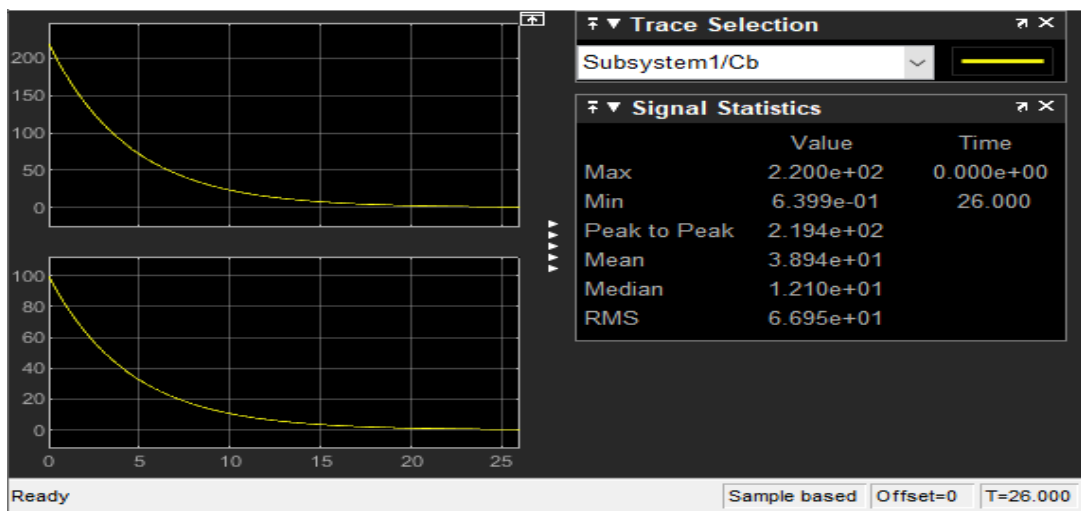


Gráfico 8-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 220 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

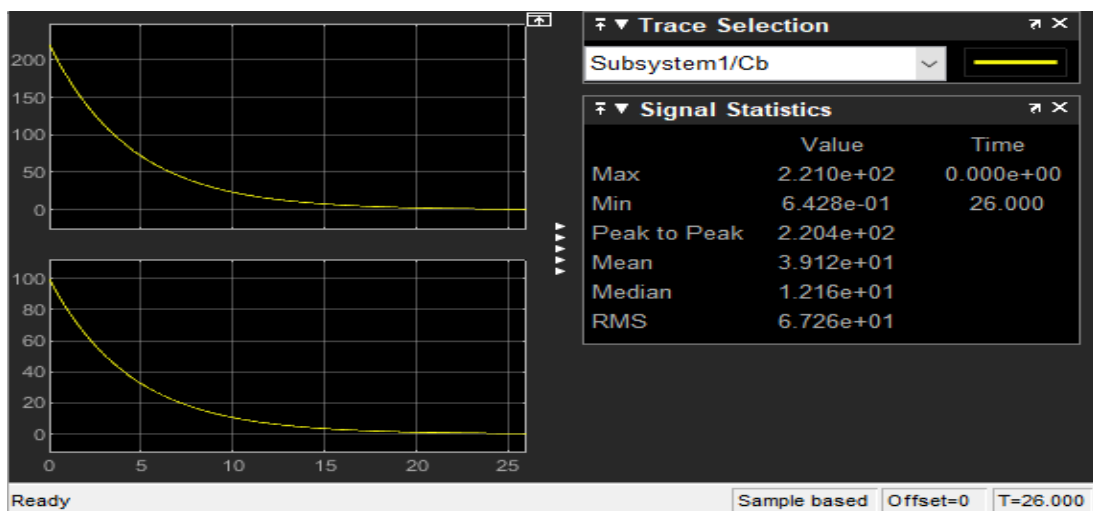


Gráfico 9-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 221 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

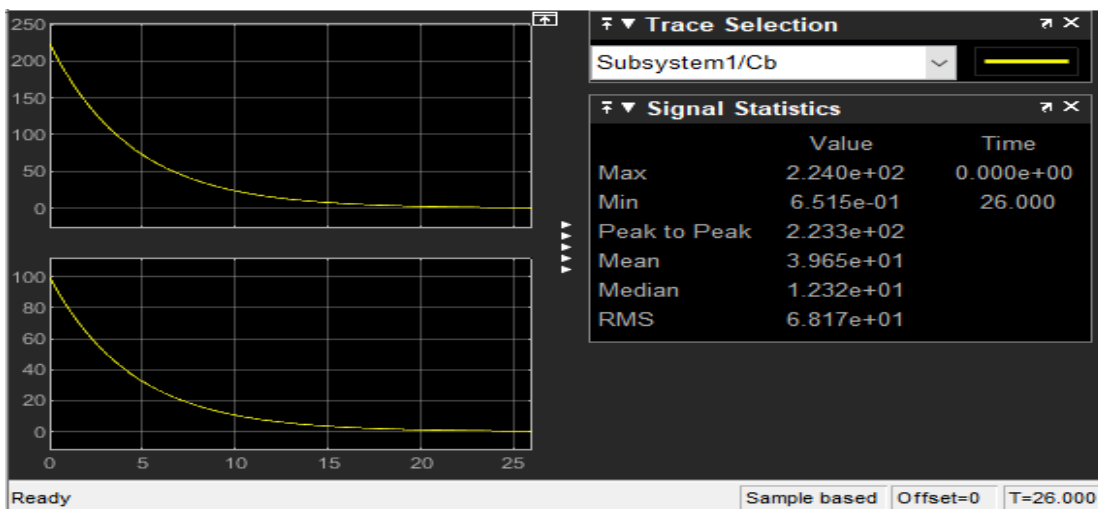


Gráfico 10-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 224 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

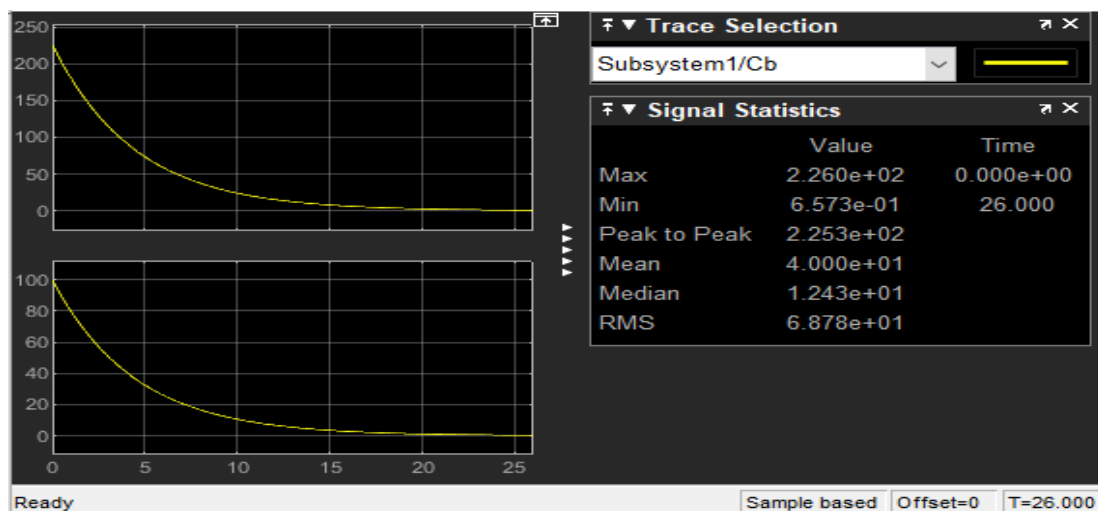


Gráfico 11-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 226 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

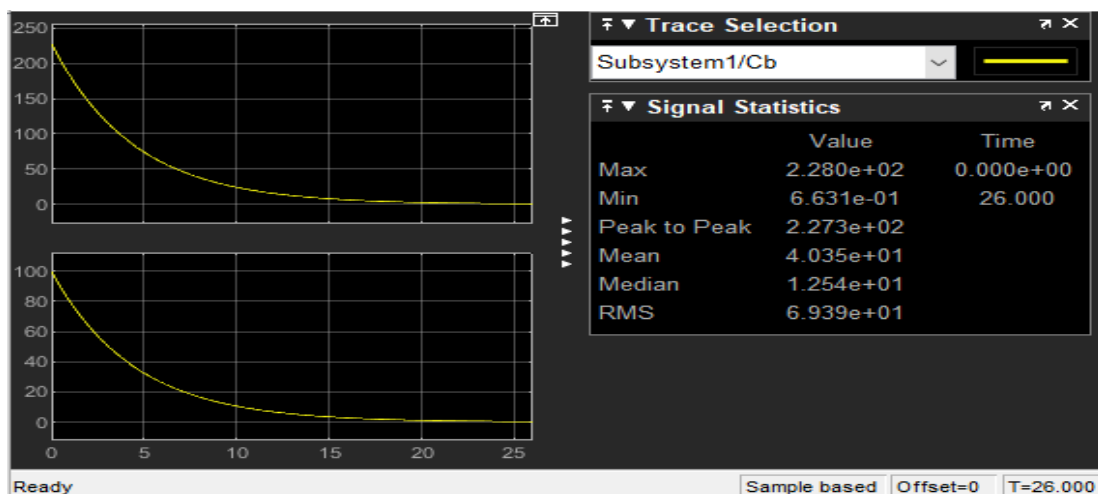


Gráfico 12-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 228 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

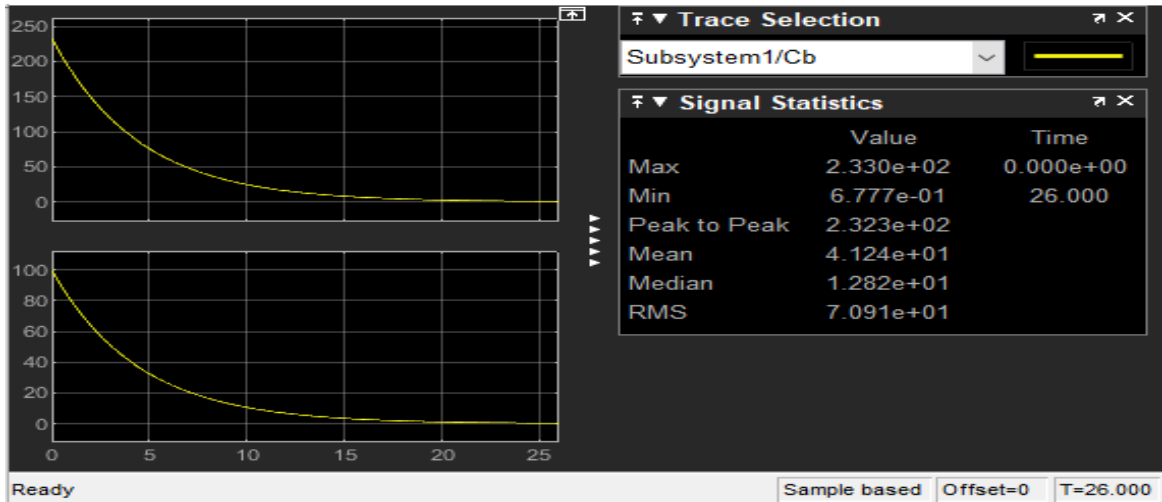


Gráfico 13-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 233 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

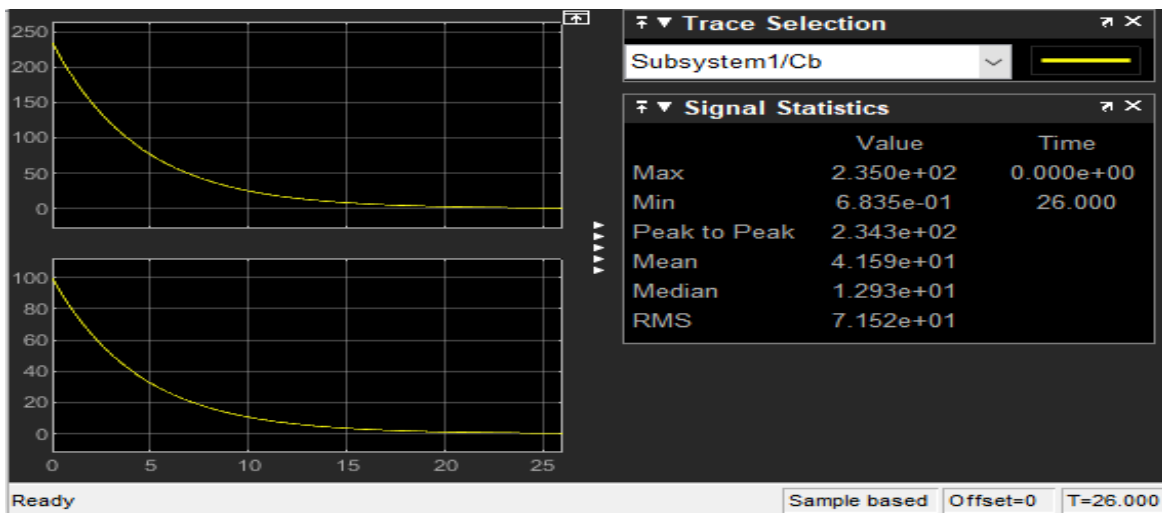


Gráfico 14-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 235 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

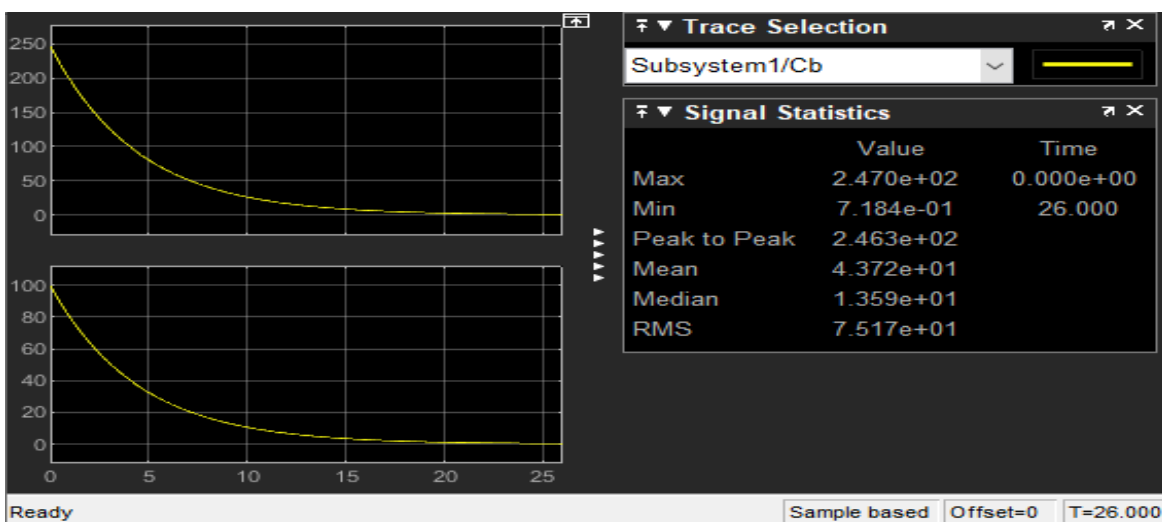


Gráfico 15-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 247 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

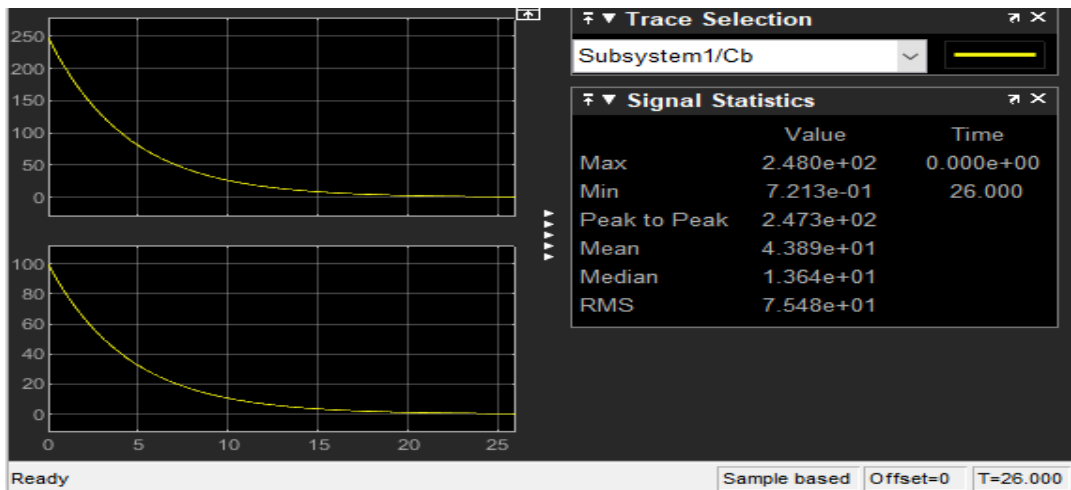


Gráfico 16-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 248 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

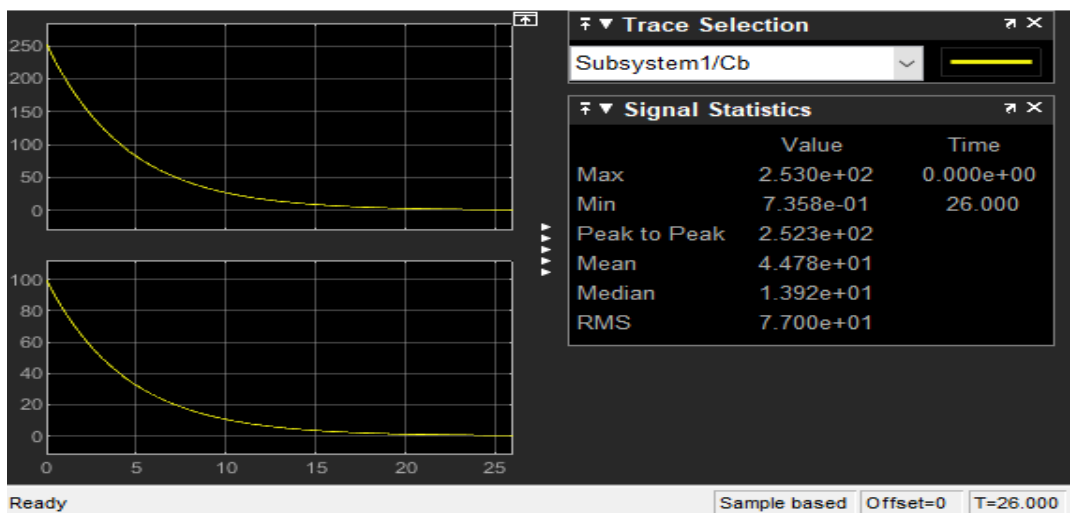


Gráfico 17-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 253 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

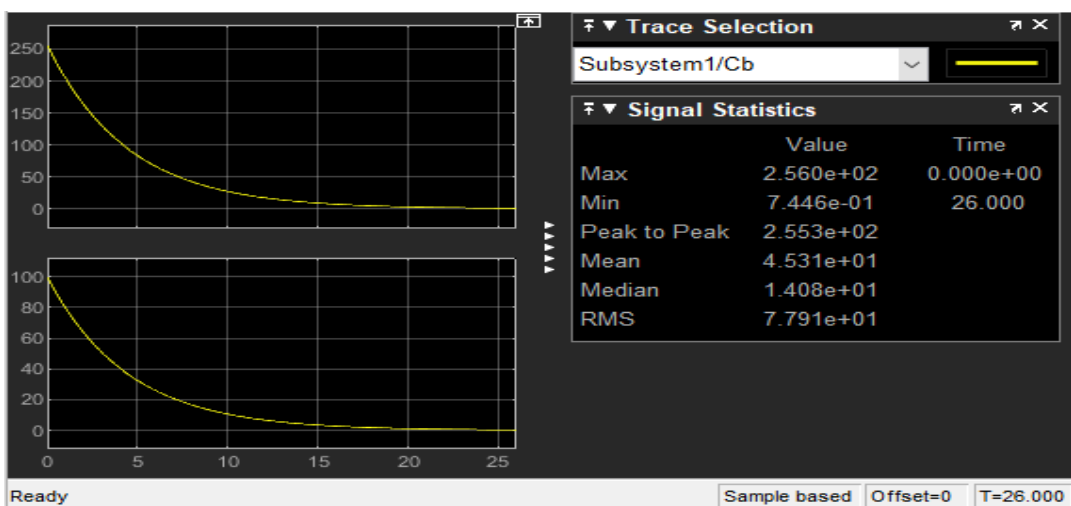


Gráfico 18-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 256 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

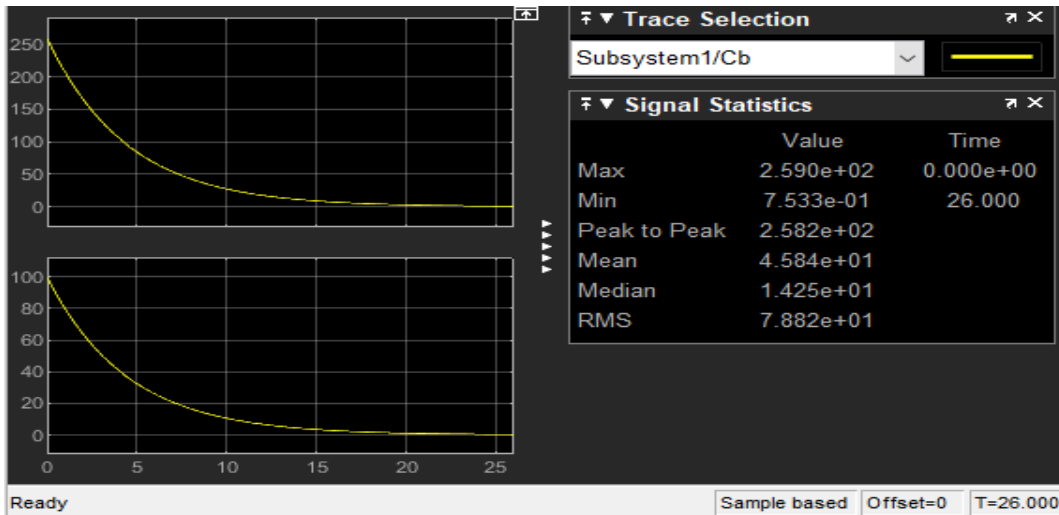


Gráfico 19-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 259 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

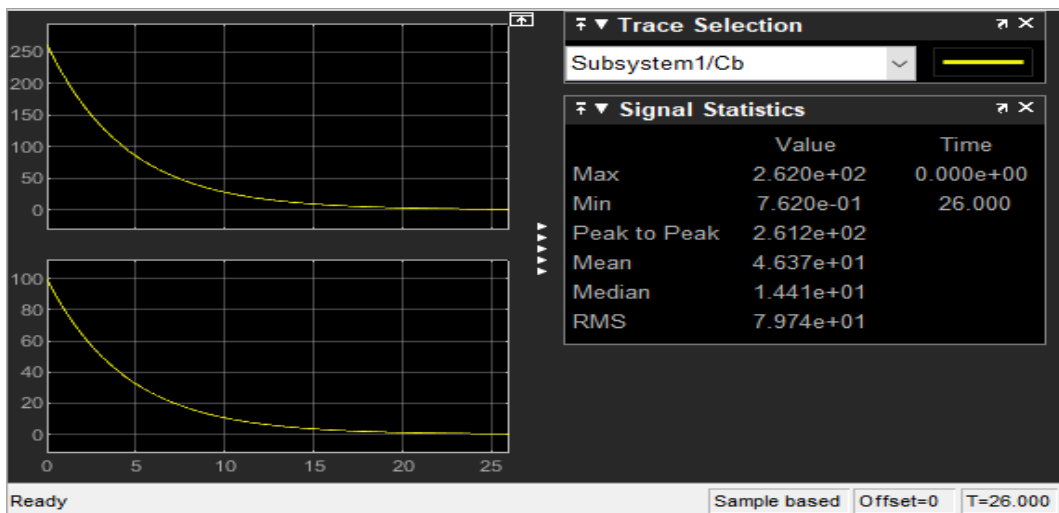


Gráfico 20-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 262 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

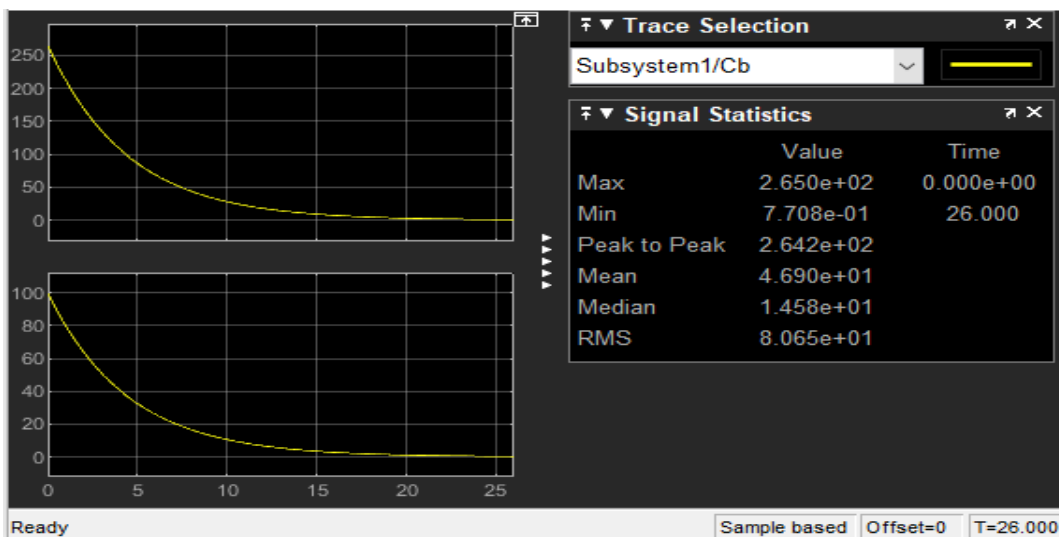


Gráfico 21-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 265 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

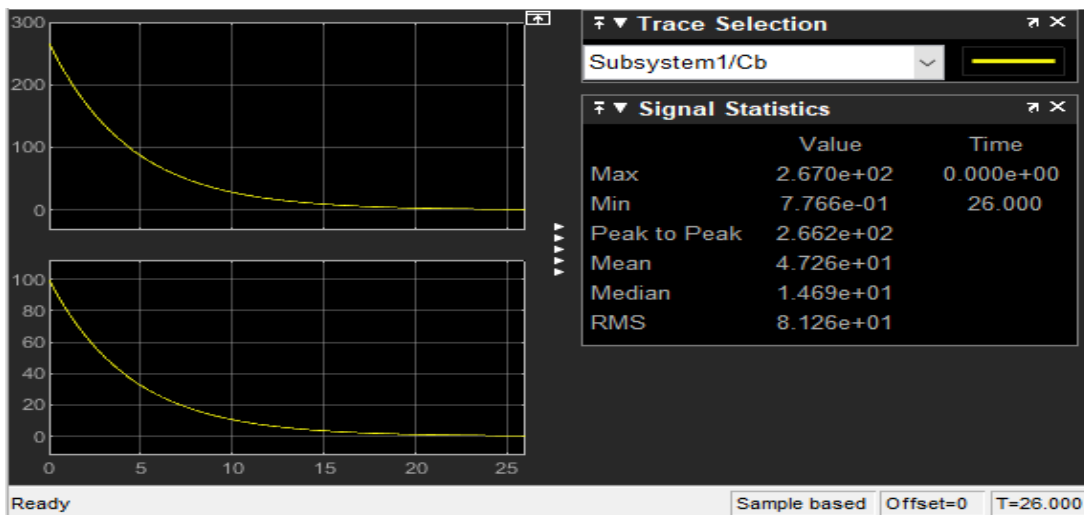


Gráfico 22-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 267 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

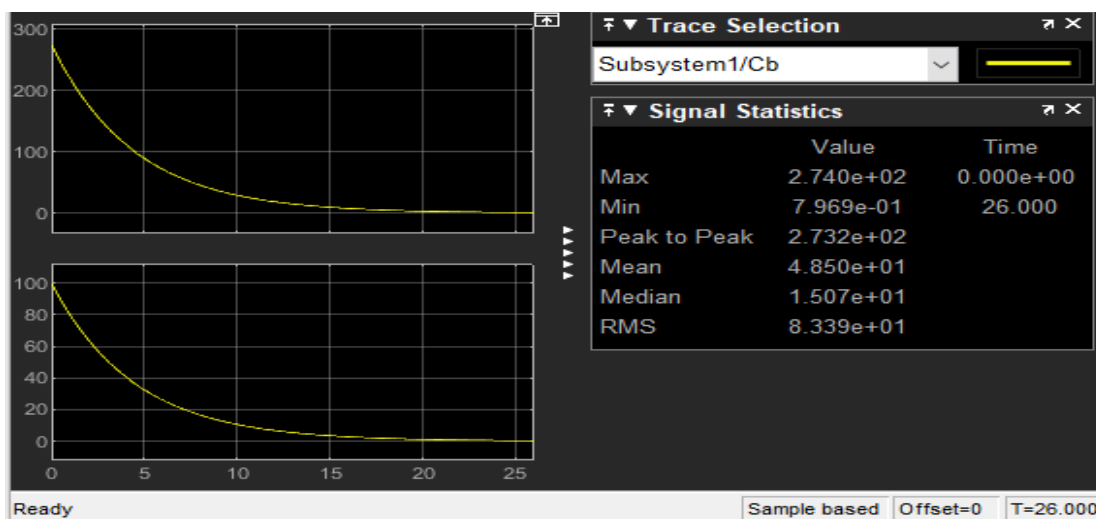


Gráfico 23-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 274 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

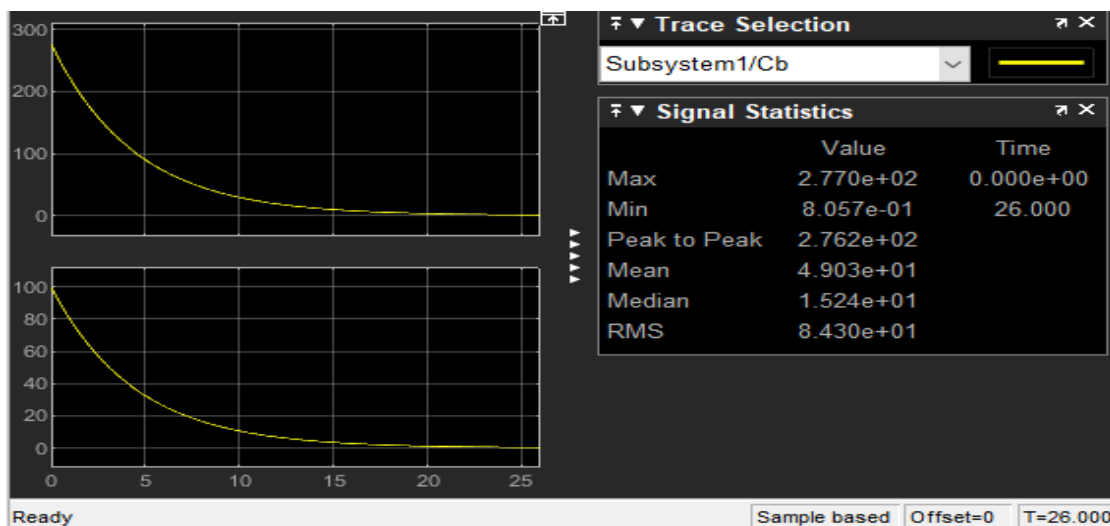


Gráfico 24-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 277 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

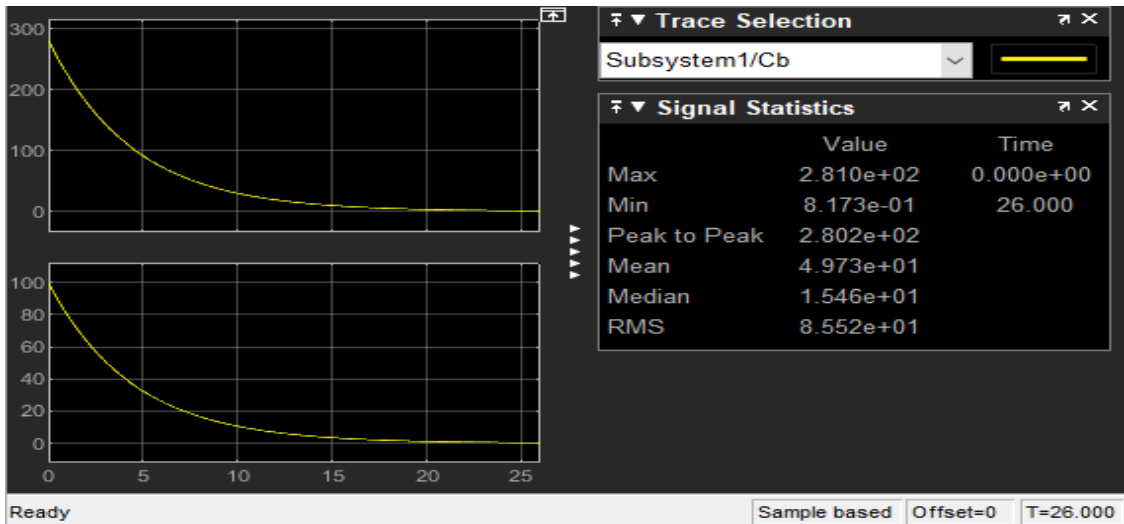


Gráfico 25-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 281 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

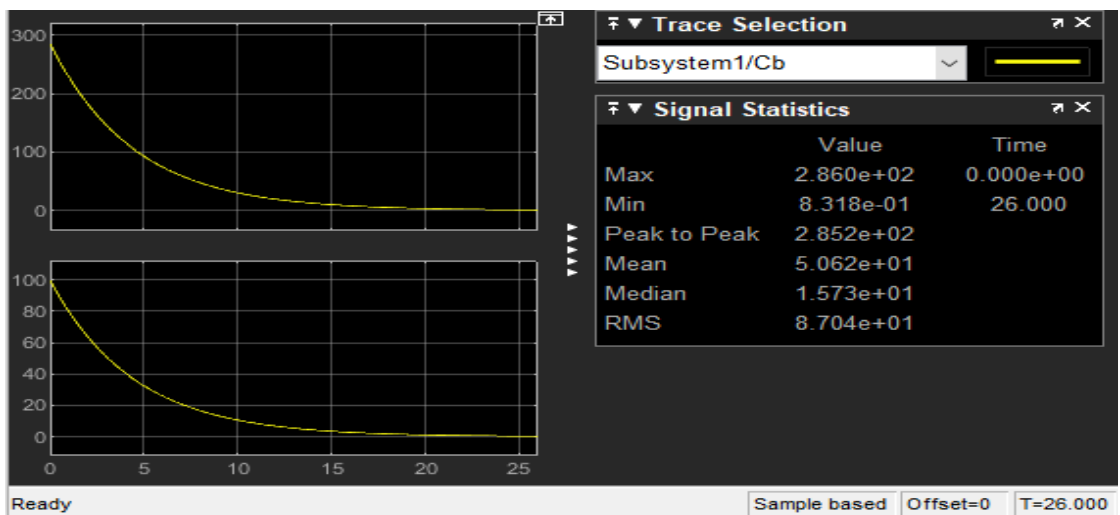


Gráfico 26-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 286 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

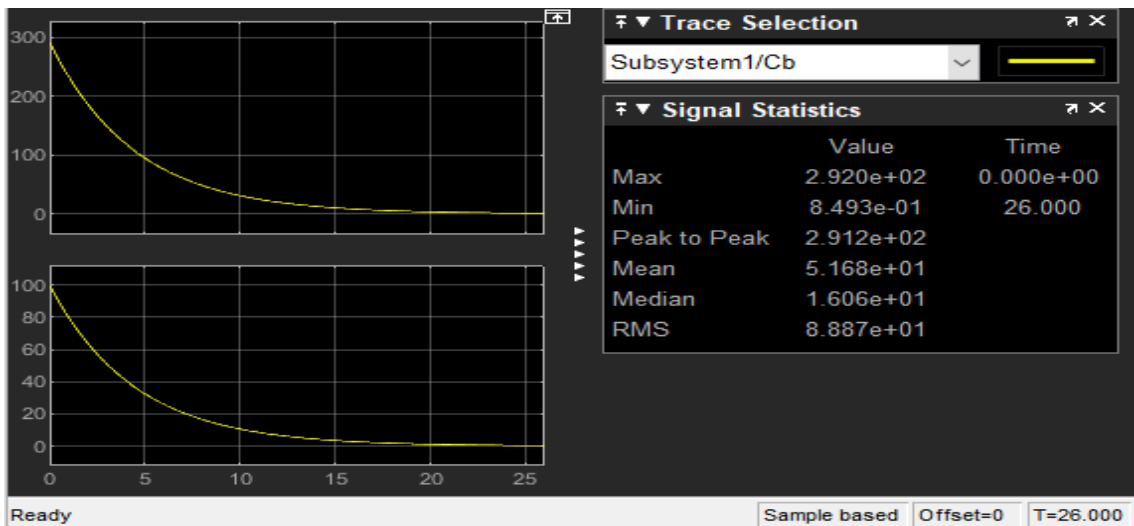


Gráfico 27-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 292 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

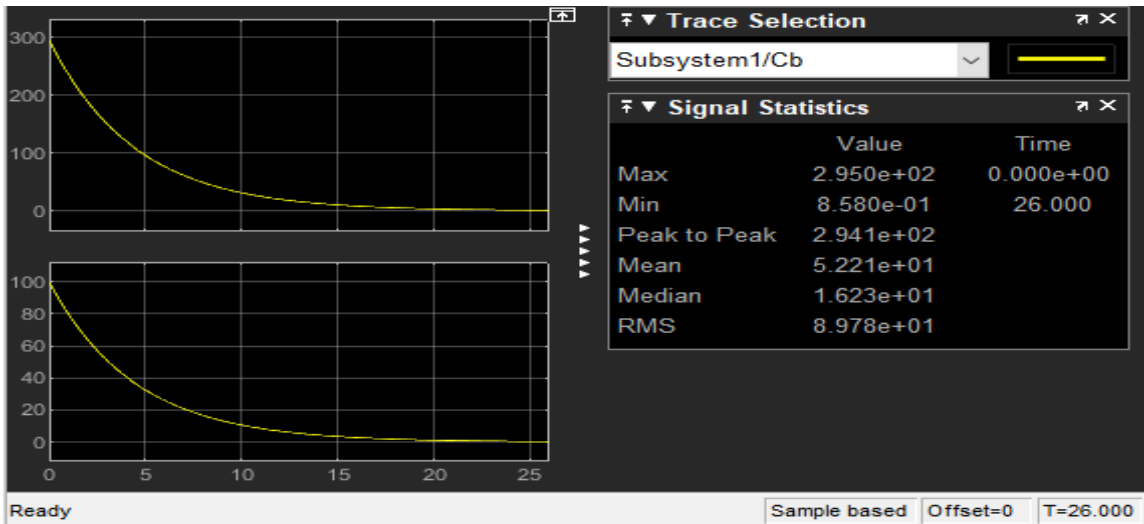


Gráfico 28-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 295 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

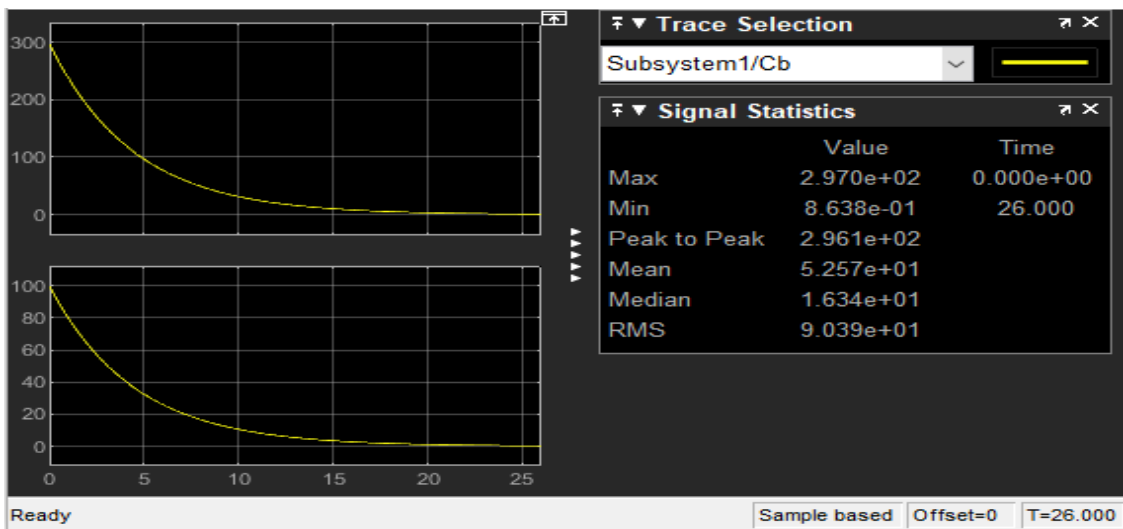


Gráfico 29-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 297 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

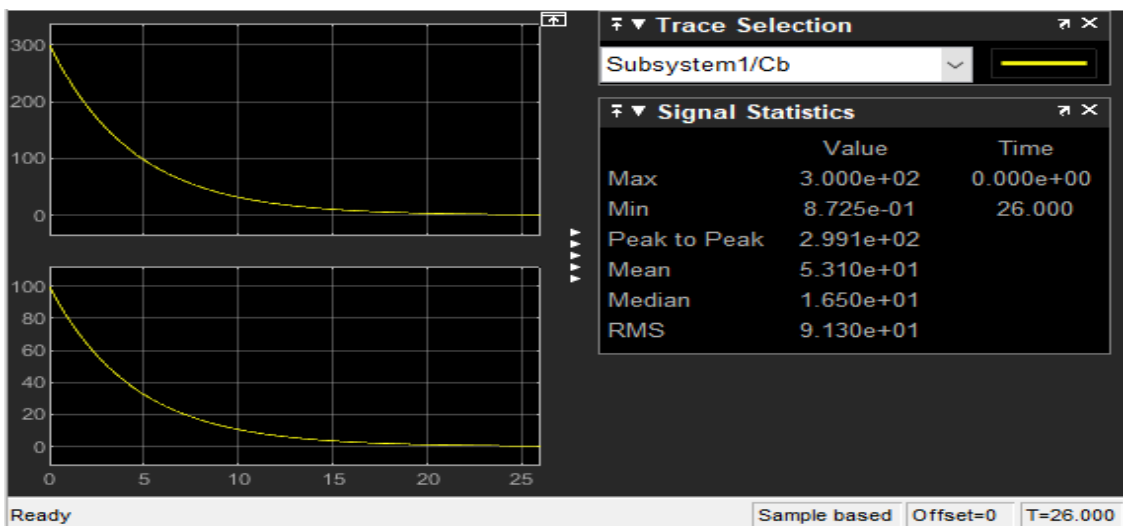


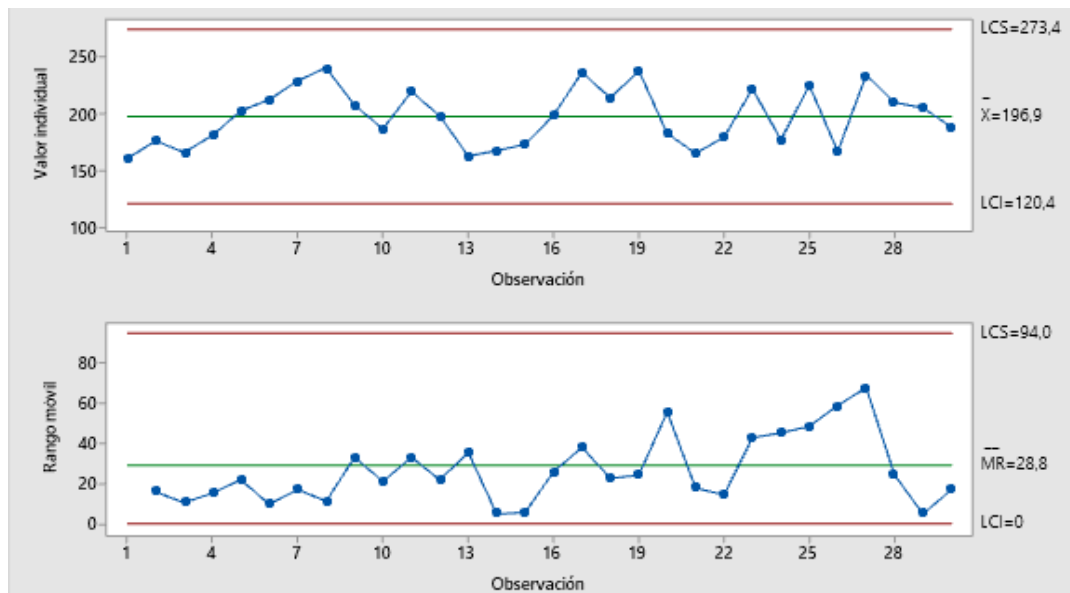
Gráfico 30-4. Concentración de OTC luego de 26 horas de contacto para 300 μM
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022

4.2. Análisis de la cinética de degradación en las diferentes concentraciones de OTC por cada hora de contacto.

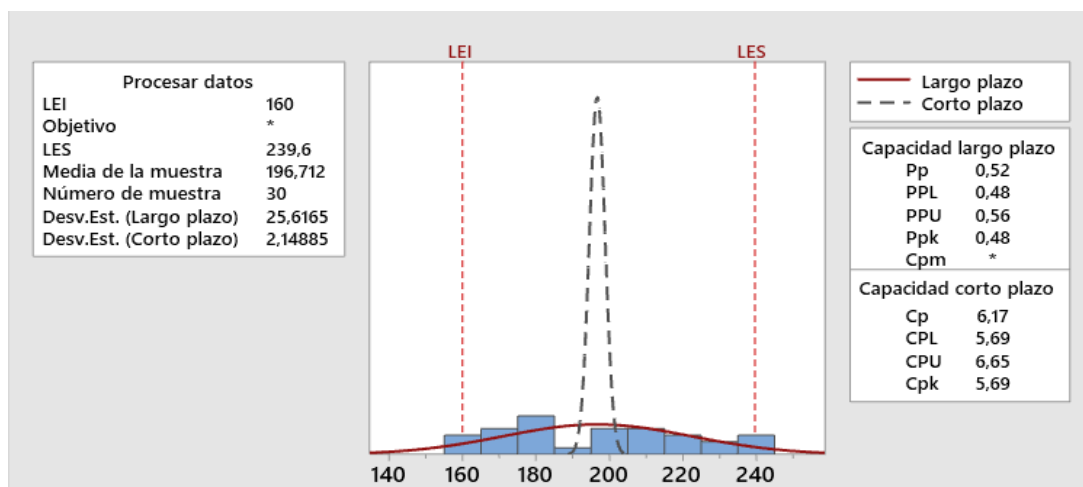
Se realizó un análisis estadístico empleando el programa MINITAB, para interpretar la reducción de OTC a diferente concentración durante cada hora de tratamiento.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para hora= 1 de contacto (Gráfica 31-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es alta, debido al amplio rango que se observa (0 a 94), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, sin embargo, al comparar las concentraciones obtenidas a la hora =1 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones aún no cumplen con la especificación, por lo que se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=2.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 32-4) en la hora=1, la concentración de OTC se encuentra entre 160 μ M y 240 μ M, existiendo entre las concentraciones un rango de 80 μ M, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 6,17$) en la primera hora, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 5,69 y al ser menor del C_p obtenido en la primera hora $C_{pk} < C_p$ ($5,69 < 6,17$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.



Gráfica 31-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 1
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 32-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 1.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para hora= 2 de contacto (Gráfica 33-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es alta, debido al amplio rango que se observa (0 a 75,07), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, sin embargo, al comparar las concentraciones obtenidas a la hora =2 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones aún no cumplen con la especificación, por lo que se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=3

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 34-4) en la hora=2, la concentración de OTC se encuentra entre $127,6\mu\text{M}$ y $191,4\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $63,8\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 3,71$) en la segunda hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es $3,51$ y al ser menor del C_p obtenido en la segunda hora $C_{pk} < C_p (3,71 < 3,51)$, se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

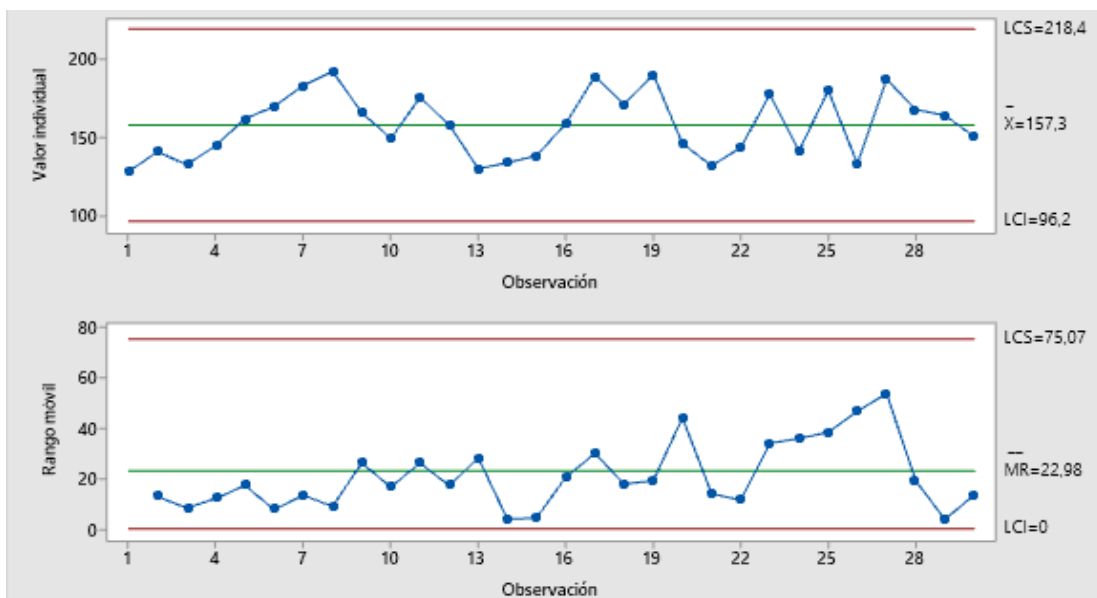
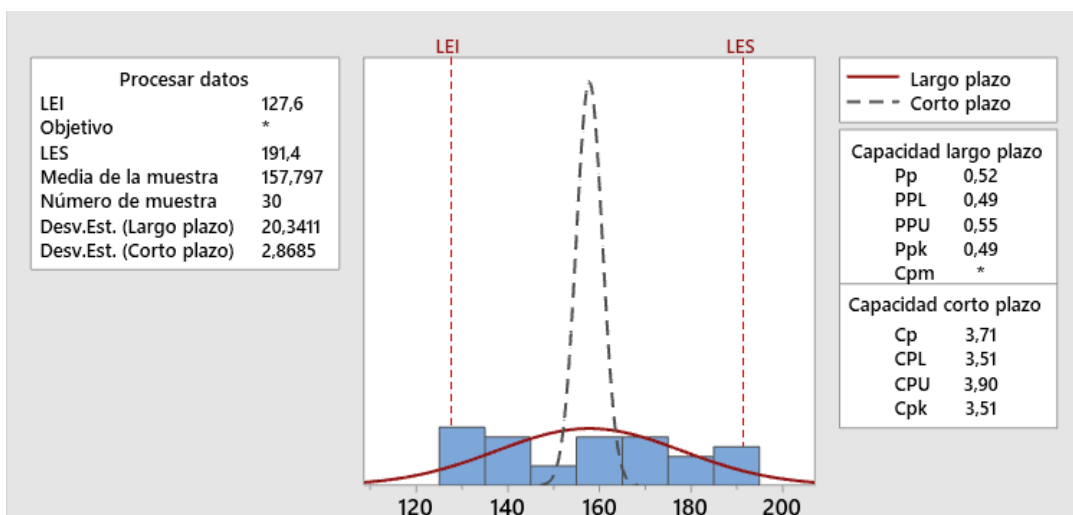


Gráfico 33-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 2
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 34-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 2.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para hora= 3 de contacto (Gráfica 35-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es alta, debido al amplio rango que se observa (0 a 60), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, sin embargo, al comparar las concentraciones obtenidas a la hora =3 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones aún no cumplen con la especificación, por lo que se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=4

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 36-4) en la hora=3, la concentración de OTC se encuentra entre $101,9\mu\text{M}$ y $152,9\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $51\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 8,20$) en la tercera hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es $7,64$ y al ser menor del C_p obtenido en la tercera hora $C_{pk} < C_p$ ($7,64 < 8,20$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

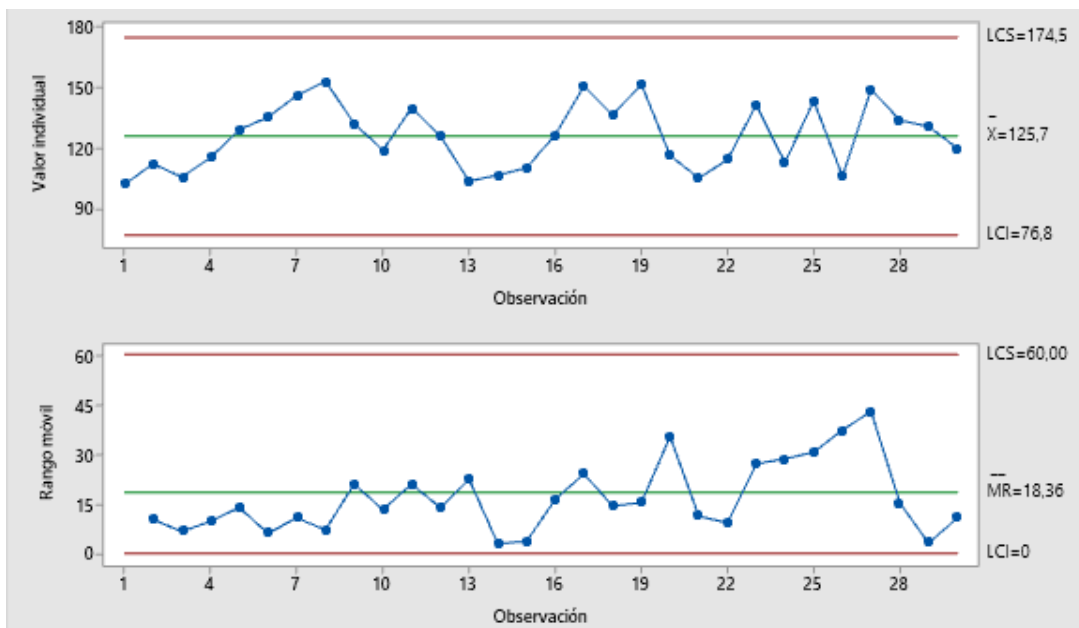
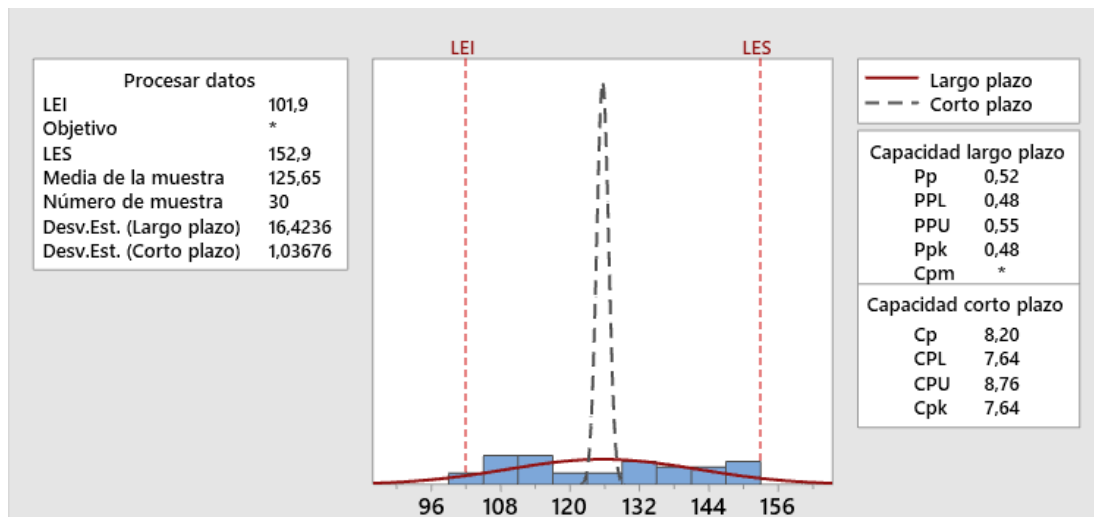


Gráfico 35-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 3.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 36-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 3.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para hora= 4 de contacto (Gráfica 37-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es alta, debido al amplio rango que se observa (0 a 47,95), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, sin embargo, al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 4 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, no todas las concentraciones cumplen con la especificación, por lo que se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=5.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 38-4) en la hora=4, la concentración de OTC se encuentra entre $81,44\mu\text{M}$ y $122,2\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $40,76\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 8,19$) en la cuarta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 7,61 y al ser menor del C_p obtenido en la cuarta hora $C_{pk} < C_p$ ($7,61 < 8,19$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

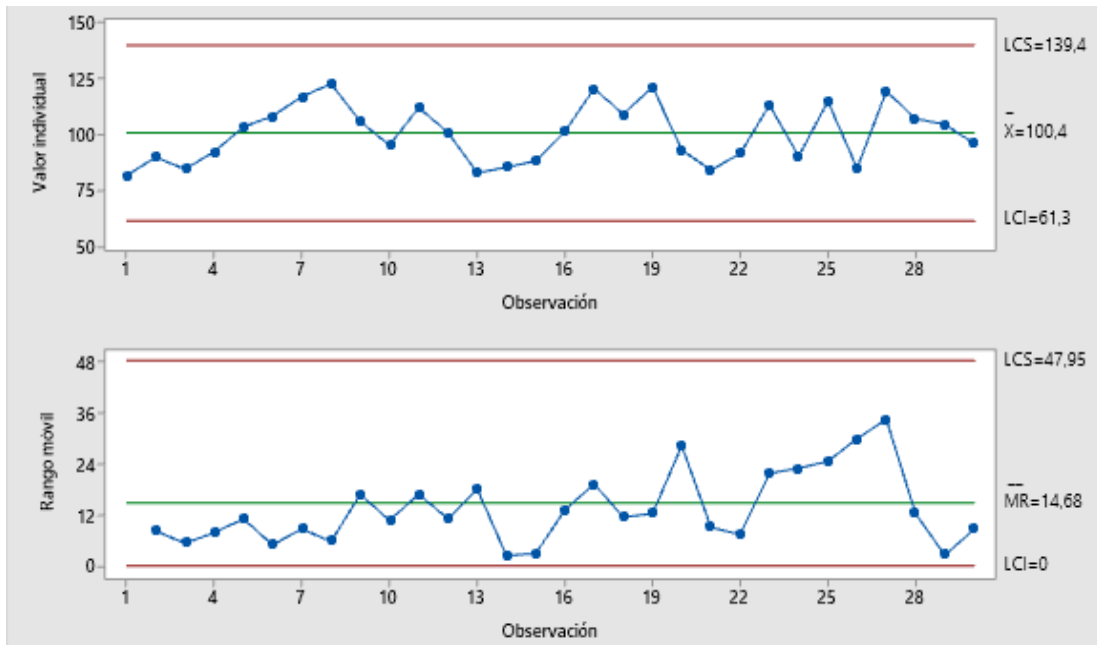


Gráfico 37-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 4.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

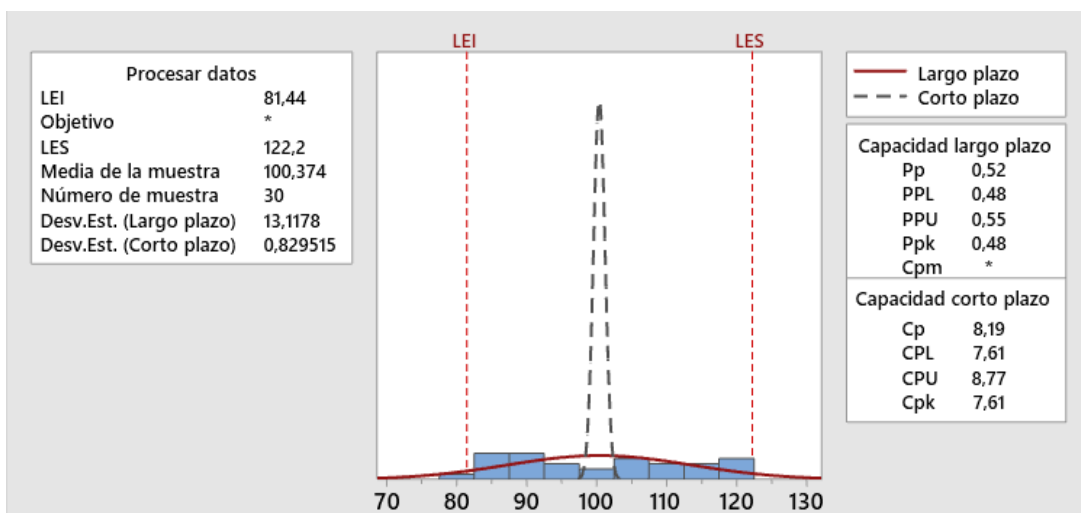


Gráfico 38-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 4.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para hora= 5 de contacto (Gráfica 39-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 38,29), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora =5 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación, sin embargo, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=6

Con respecto a la capacidad del proceso (Cp) de eliminación de antibiótico (Gráfica 40-4) en la hora=5, la concentración de OTC se encuentra entre 65,05µM y 100µM, existiendo entre las concentraciones un rango de 34,95µM, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta (Cp= 3,34) en la quinta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (Cpk) es 2,89 y al ser menor del Cp obtenido en la quinta hora $C_{pk} < C_p$ ($2,89 < 3,34$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser Cp y Cpk mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

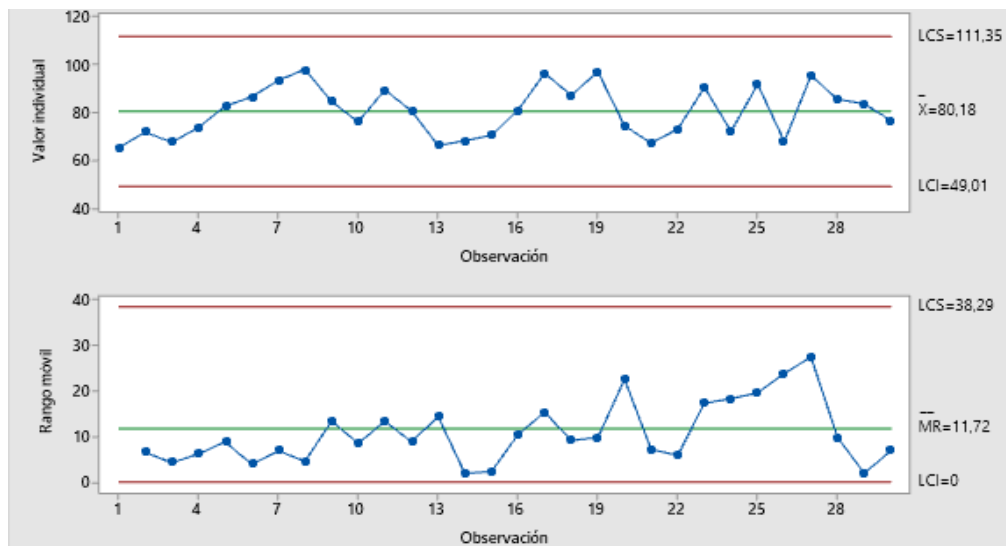
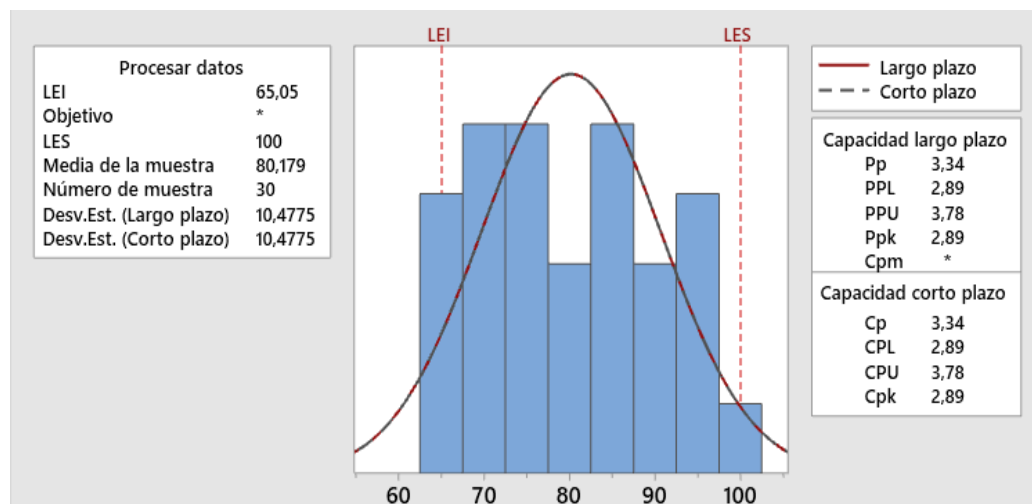


Gráfico 39-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 5.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 40-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 5.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=6 de contacto (Gráfica 41-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 29,93), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 6 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación, sin embargo, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=7

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 42-4) en la hora=6, la concentración de OTC se encuentra entre $77,95\mu\text{M}$ y $52,75\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $25,2\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 3,01$) en la sexta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 2,70 y al ser menor del C_p obtenido en la sexta hora $C_{pk} < C_p$ ($2,70 < 3,01$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

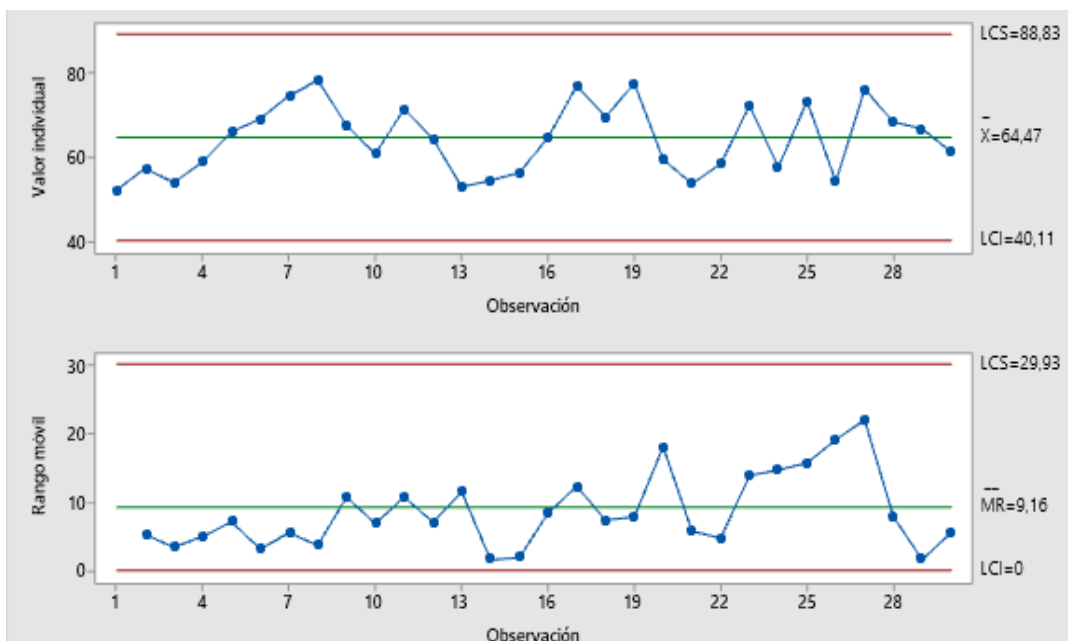
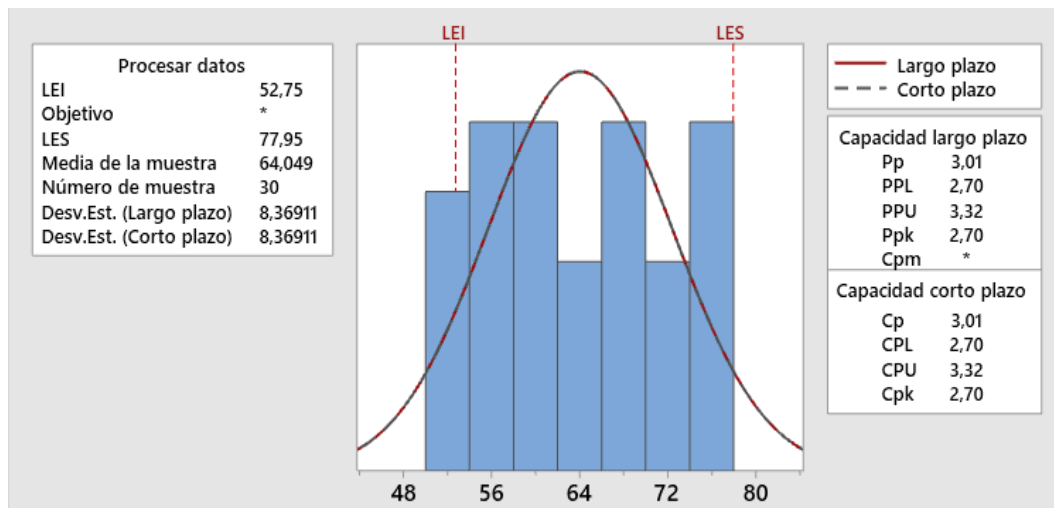


Gráfico 41-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 6.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 42-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 6.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=7 de contacto (Gráfica 43-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 24,43), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 7 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación, sin embargo, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=8

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 44-4) en la hora=7, la concentración de OTC se encuentra entre $41,51\mu\text{M}$ y $62,27\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $20,76\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 3,10$) en la séptima hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 2,89 y al ser menor del C_p obtenido en la séptima hora $C_{pk} < C_p$ ($2,89 < 3,10$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

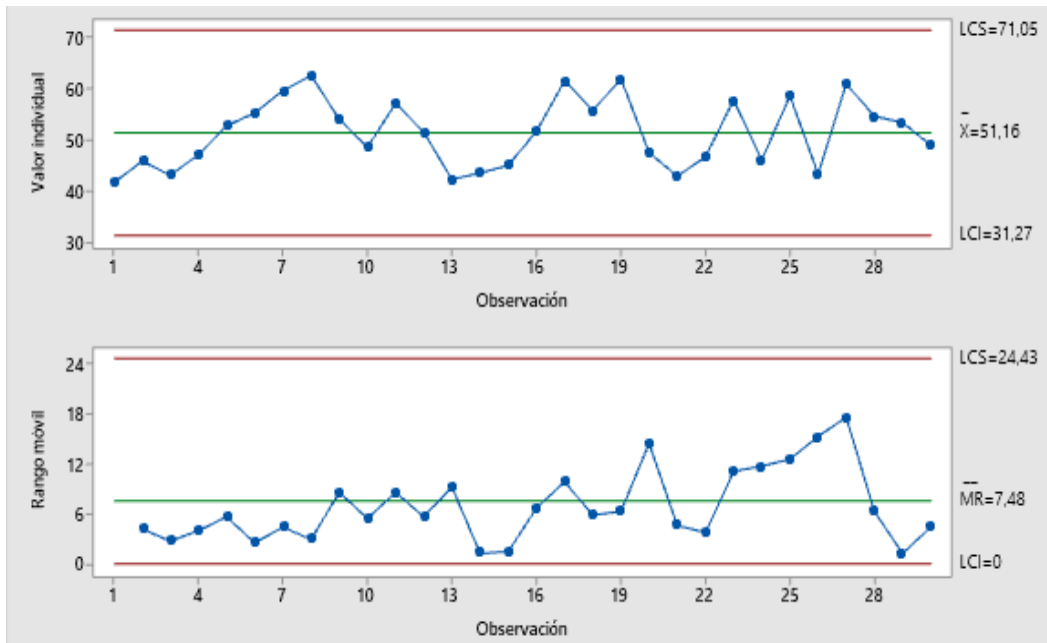
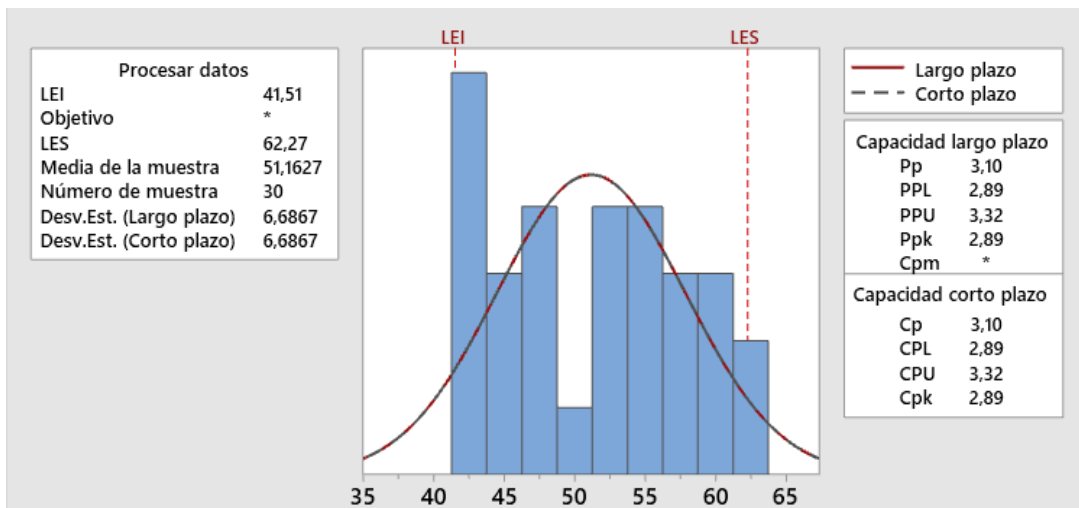


Gráfico 43-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 7.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 44-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 7.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=8 de contacto (Gráfica 45-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 19,57), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 8 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 46-4) en la hora=8, la concentración de OTC se encuentra entre $49,74\mu\text{M}$ y $33,16\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $16,58\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p= 3,10$) en la octava hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es $2,88$ y al ser menor del C_p obtenido en la octava hora $C_{pk} < C_p$ ($2,88 < 3,10$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

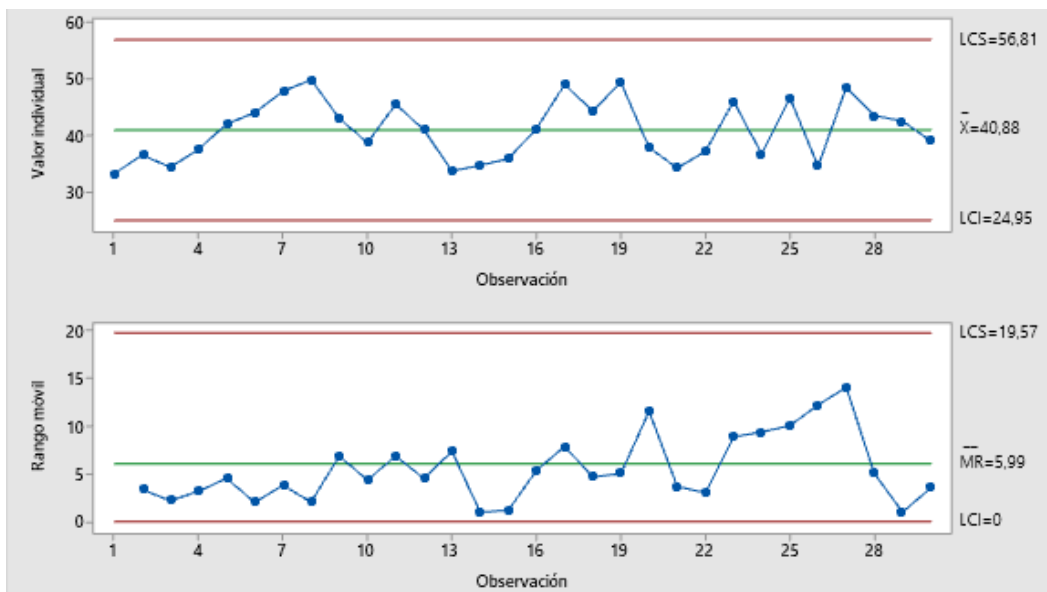
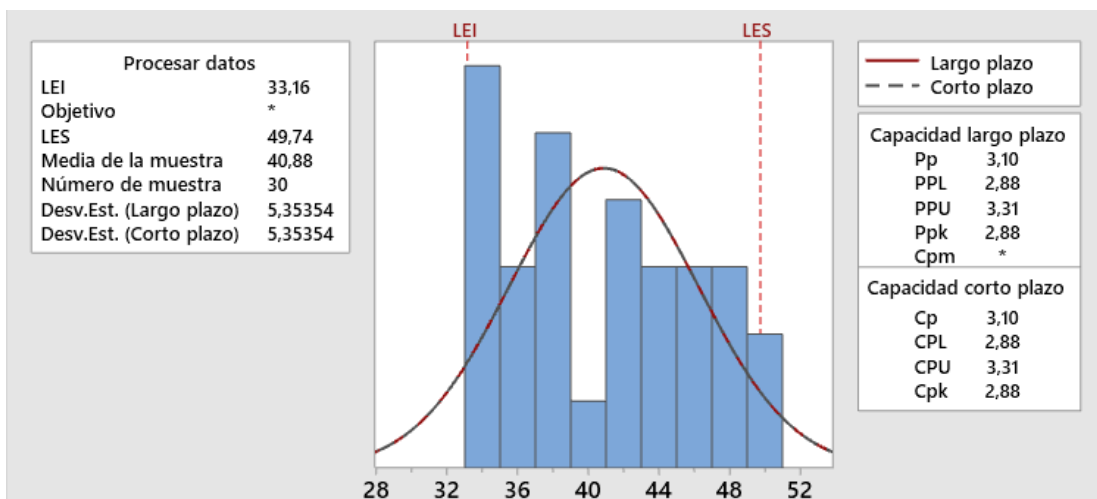


Gráfico 45-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 8.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 46-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 8.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=16 de contacto (Gráfica 47-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 3,243), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 16 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 48-4) en la hora=16, la concentración de OTC se encuentra entre $5,5\mu\text{M}$ y $8,25\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $2,75\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 1,73$) en la décima sexta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,60 y al ser menor del C_p obtenido en la décima sexta hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,60 < 1,73$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

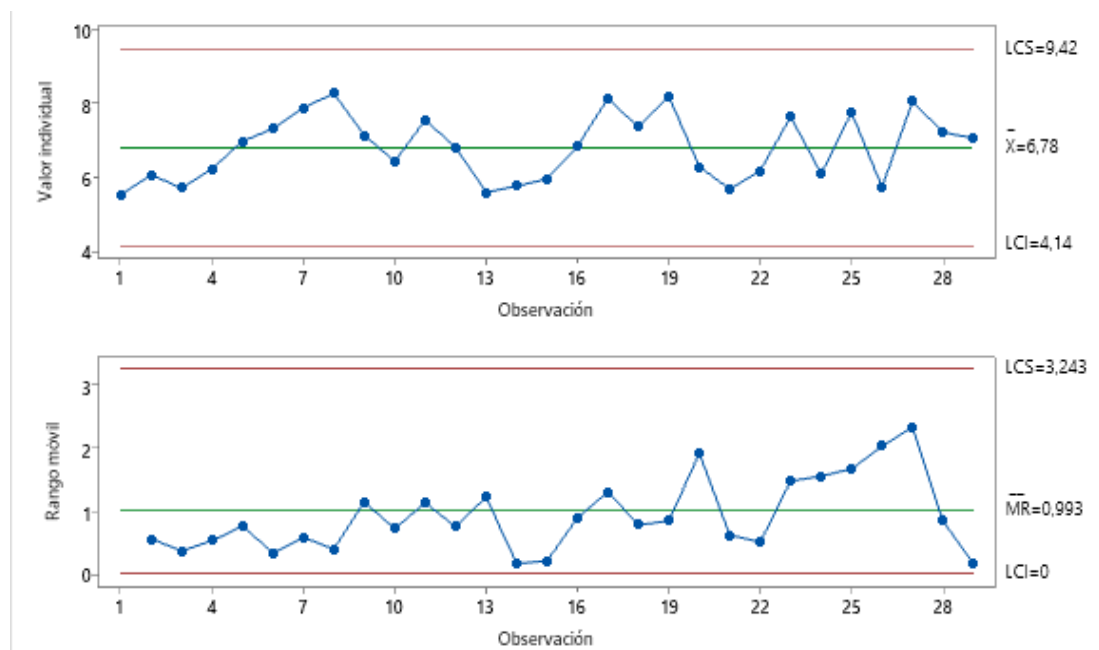
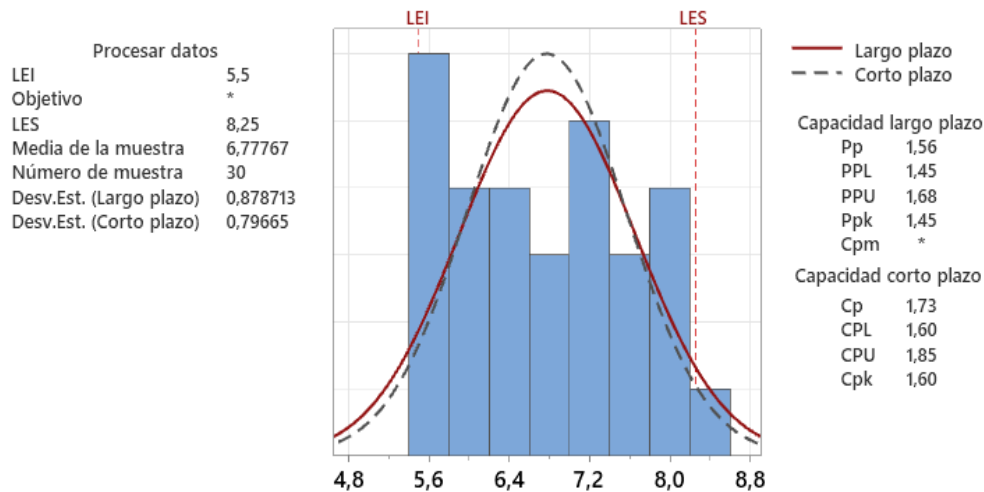


Gráfico 47-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 16.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 48-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 16.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=17 de contacto (Gráfica 49-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 2,580), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 17 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 50-4) en la hora=17, la concentración de OTC se encuentra entre $4,39\mu\text{M}$ y $6,59\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $2,2\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 1,73$) en la décima séptima hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,61 y al ser menor del C_p obtenido en la décima séptima hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,61 < 1,73$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

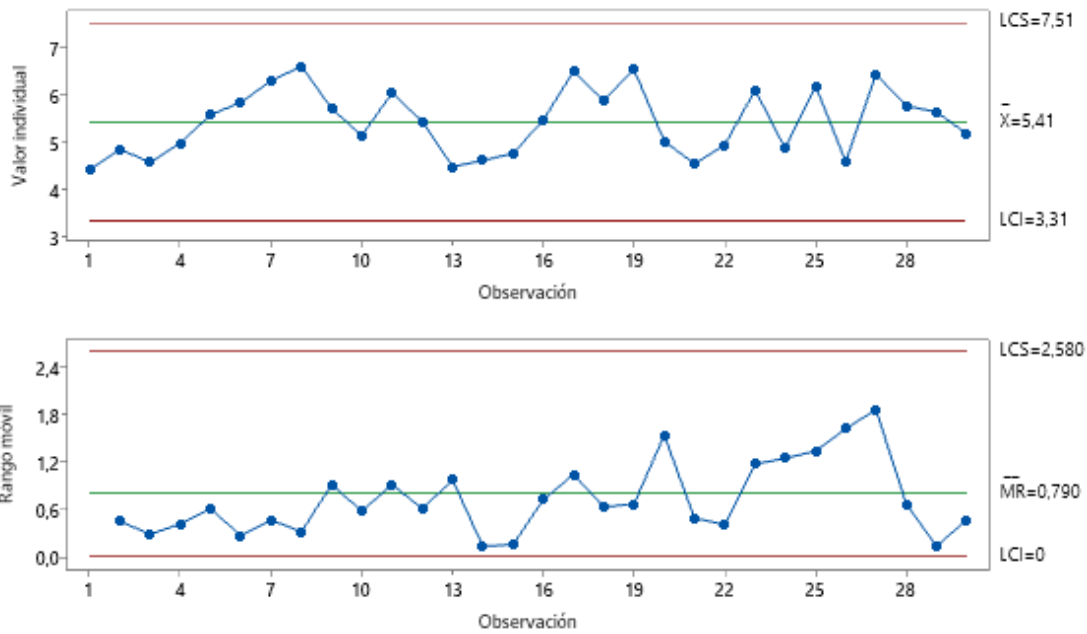
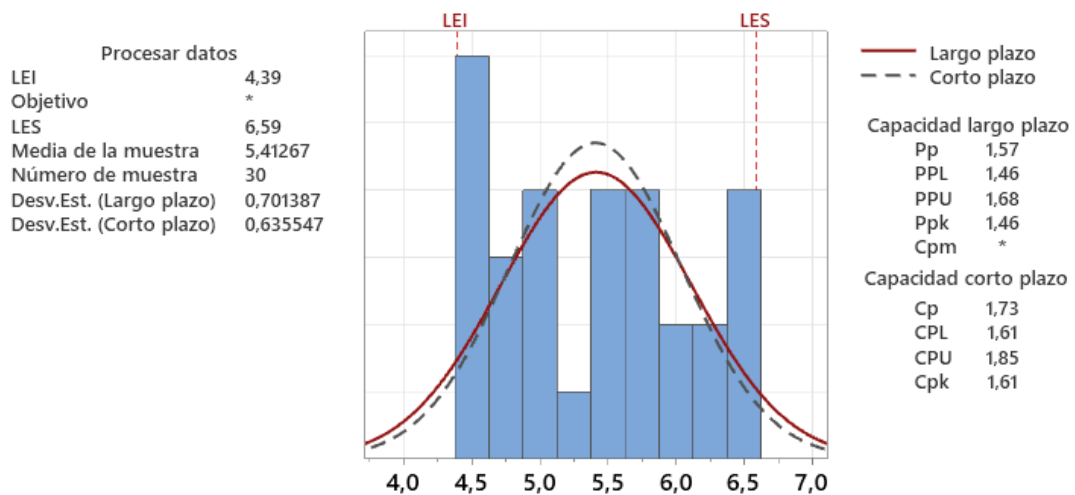


Gráfico 49-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 17.
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 50-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 17.
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=18 de contacto (Gráfica 51-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 2,064), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 18 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 52-4) en la hora=18, la concentración de OTC se encuentra entre $3,51\mu\text{M}$ y $5,26\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $1,75\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 1,72$) en la décima octava hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es $1,60$ y al ser menor del C_p obtenido en la décima octava hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,60 < 1,72$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

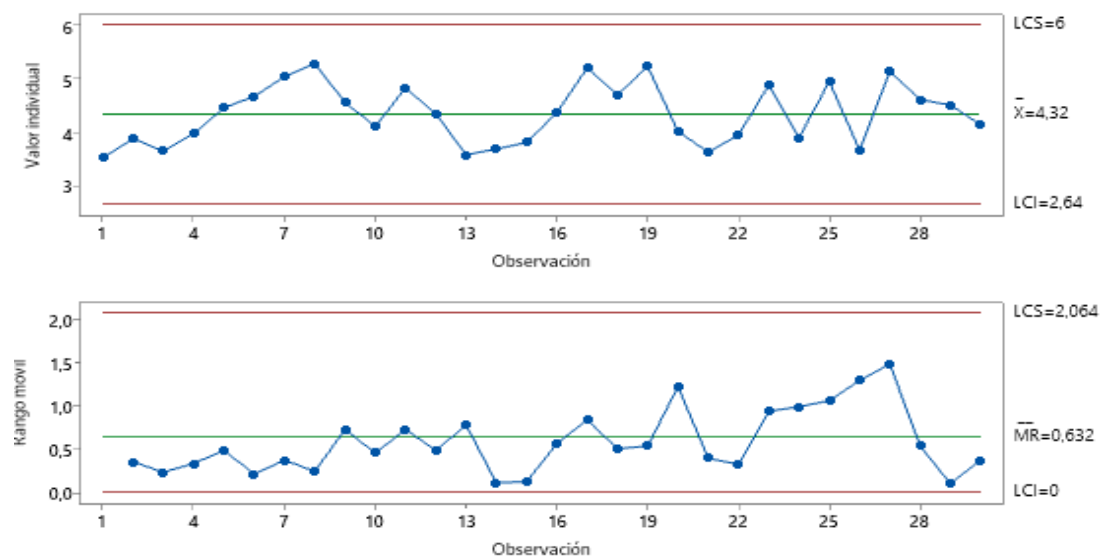
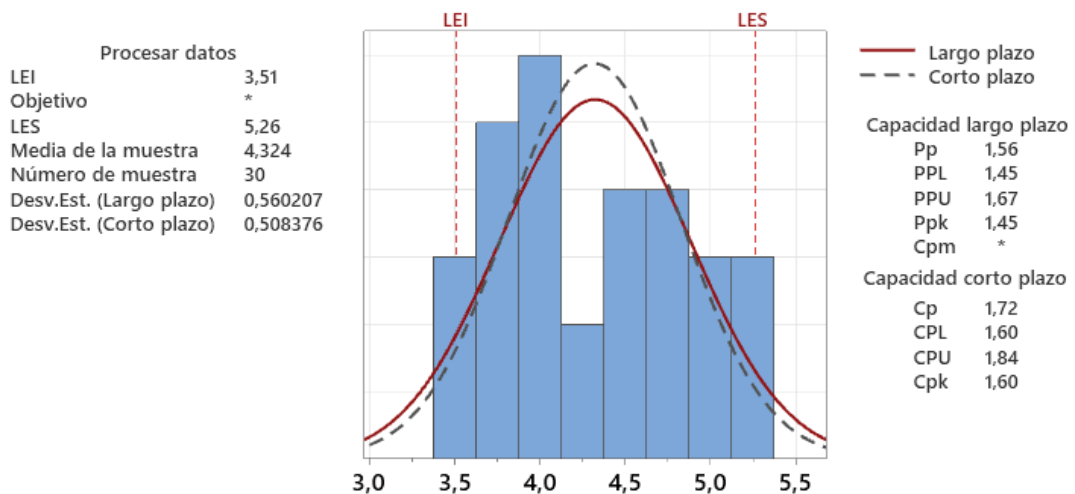


Gráfico 51-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 18.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 52-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 18.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=19 de contacto (Gráfica 53-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 1,658), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 19 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 54-4) en la hora=19, la concentración de OTC se encuentra entre $2,8\mu\text{M}$ y $4,2\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $1,40\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 1,73$) en la décima novena hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,62 y al ser menor del C_p obtenido en la décima novena hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,62 < 1,73$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

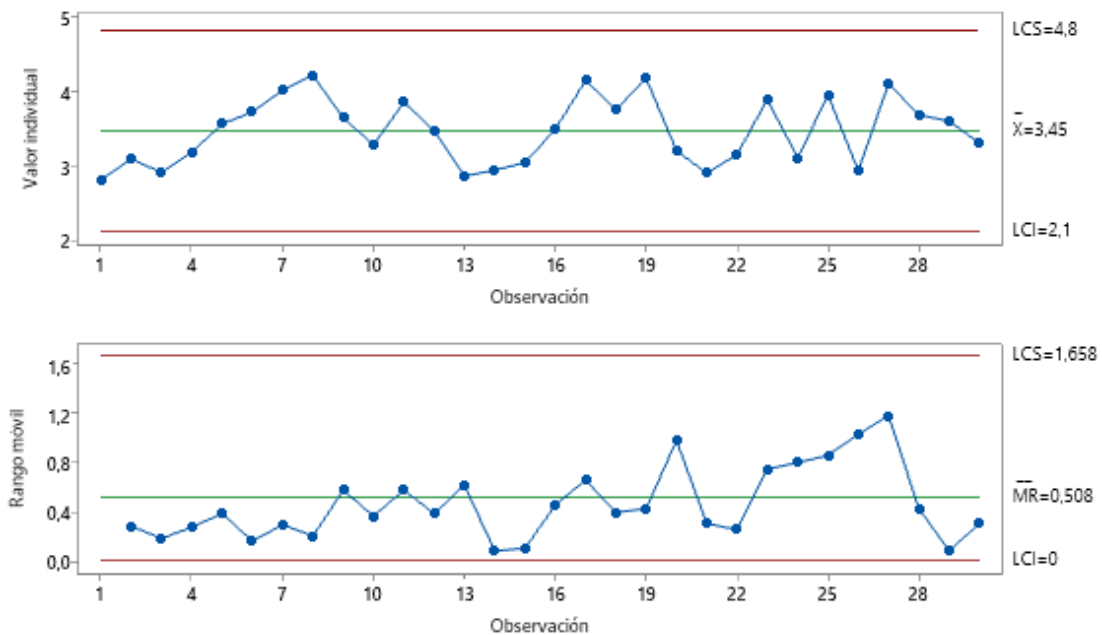
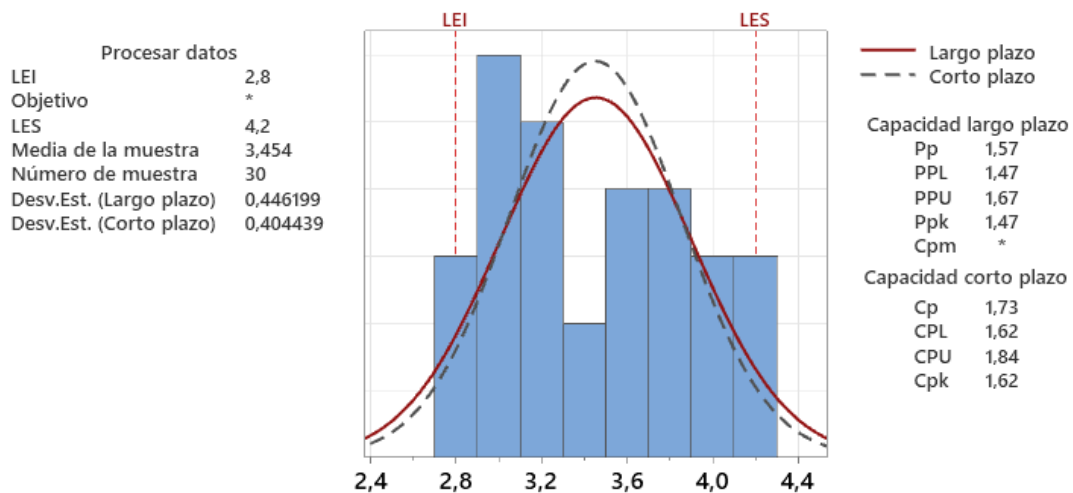


Gráfico 53-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 19.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 54-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 19.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=20 de contacto (Gráfica 55-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 1,327), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 20 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 56-4) en la hora=20, la concentración de OTC se encuentra entre 2,24 μ M y 3,36 μ M, existiendo entre las concentraciones un rango de 1,12 μ M, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 1,73$) en la vigésima hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,60 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,60 < 1,73$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

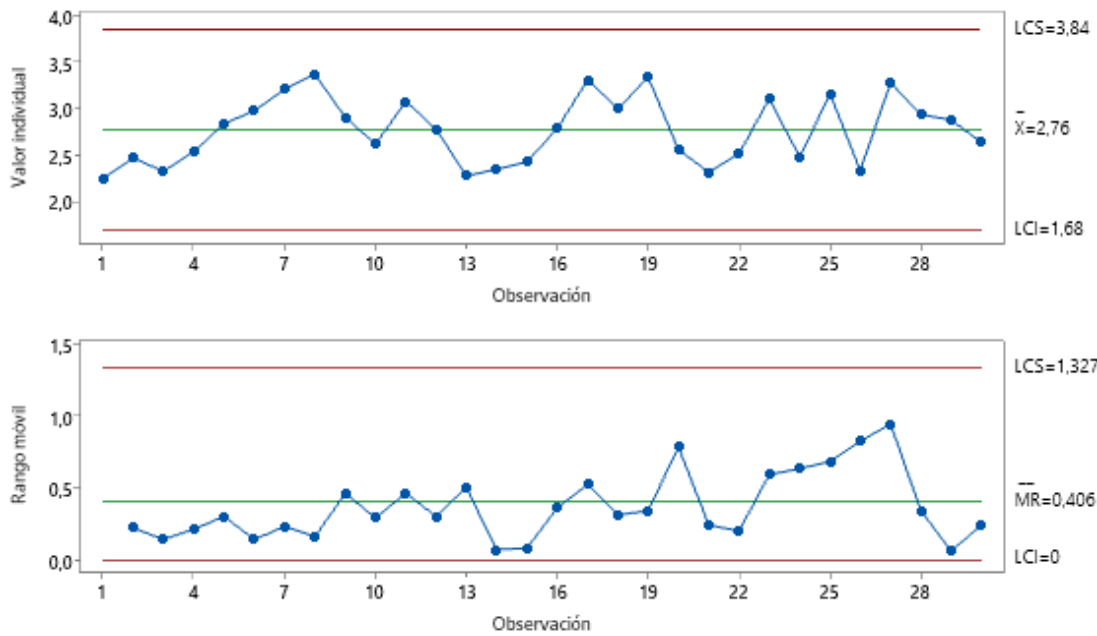
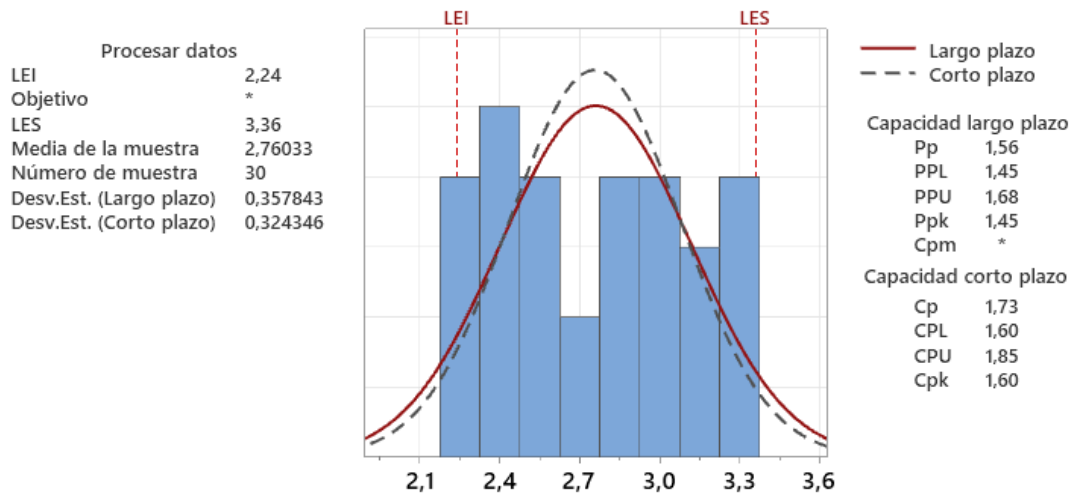


Gráfico 55-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 20.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 56-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 20.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=21 de contacto (Gráfica 57-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 1,069), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones

obtenidas a la hora= 21 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 58-4) en la hora=21, la concentración de OTC se encuentra entre $1,79\mu\text{M}$ y $2,68\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $0,89\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p= 1,15$) en la vigésima primera hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es $1,07$ y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima primera hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,07 < 1,15$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

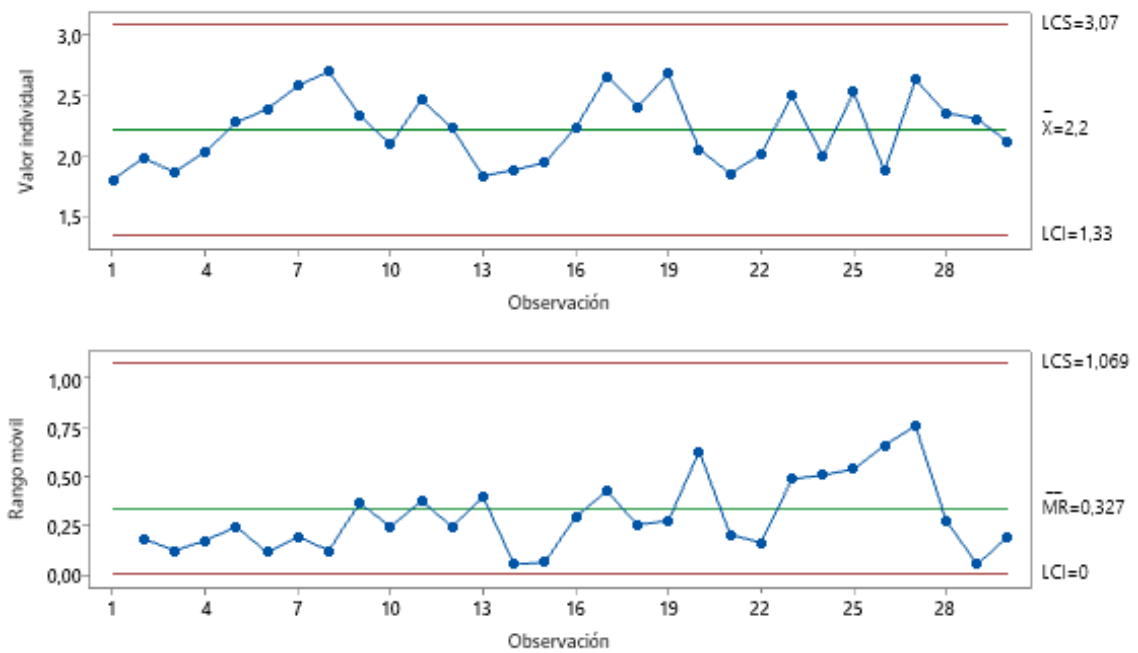
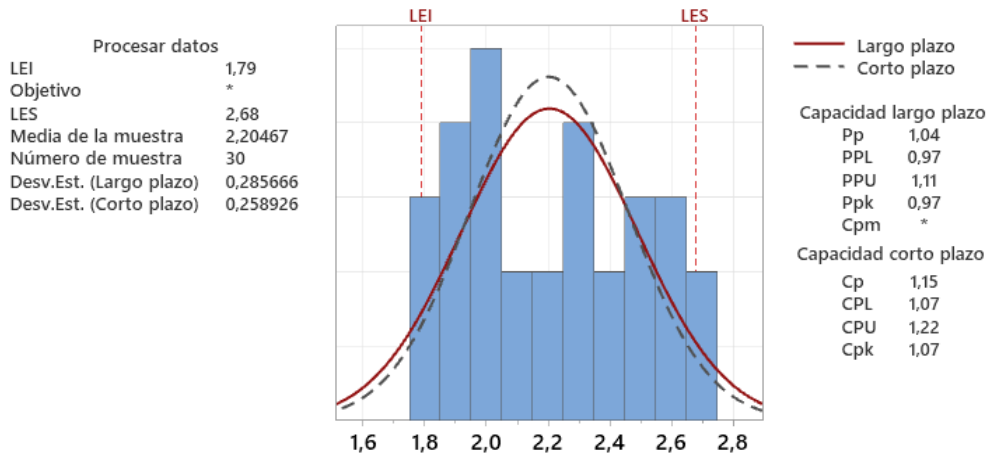


Gráfico 57-3. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 21.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 58-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 21.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=22 de contacto (Gráfica 59-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,847), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 22 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 60-4) en la hora=22, la concentración de OTC se encuentra entre 2,14 μ M y 1,43 μ M, existiendo entre las concentraciones un rango de 0,71 μ M, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p= 1,58$) en la vigésima segunda hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,42 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima segunda hora, $C_{pk} < C_p$ (1,42 < 1,58), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

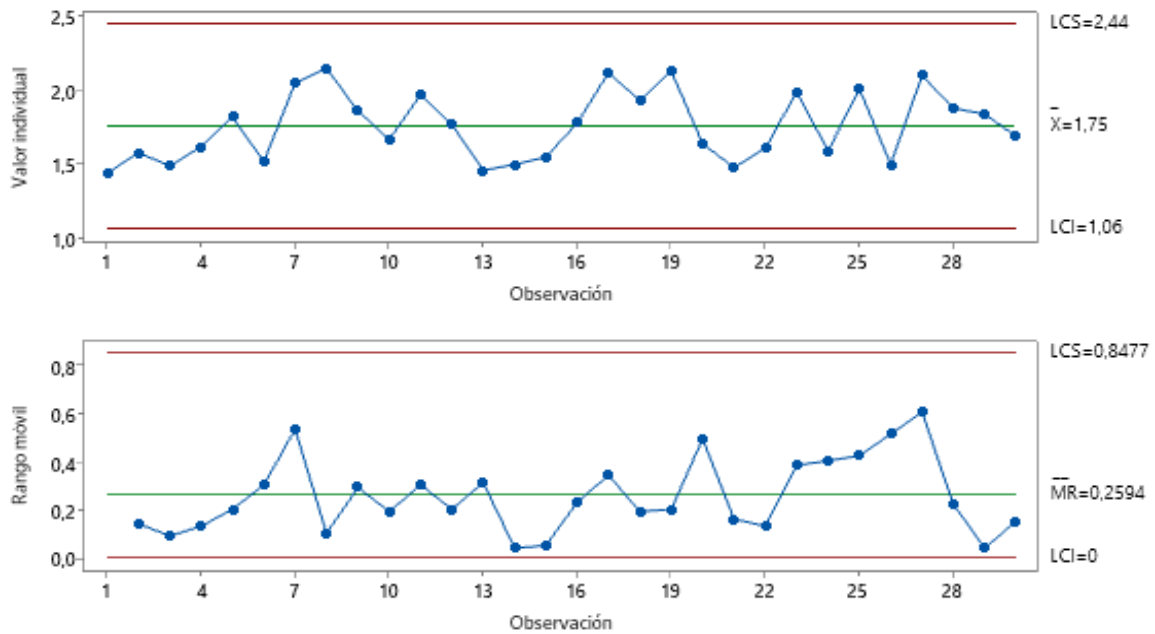
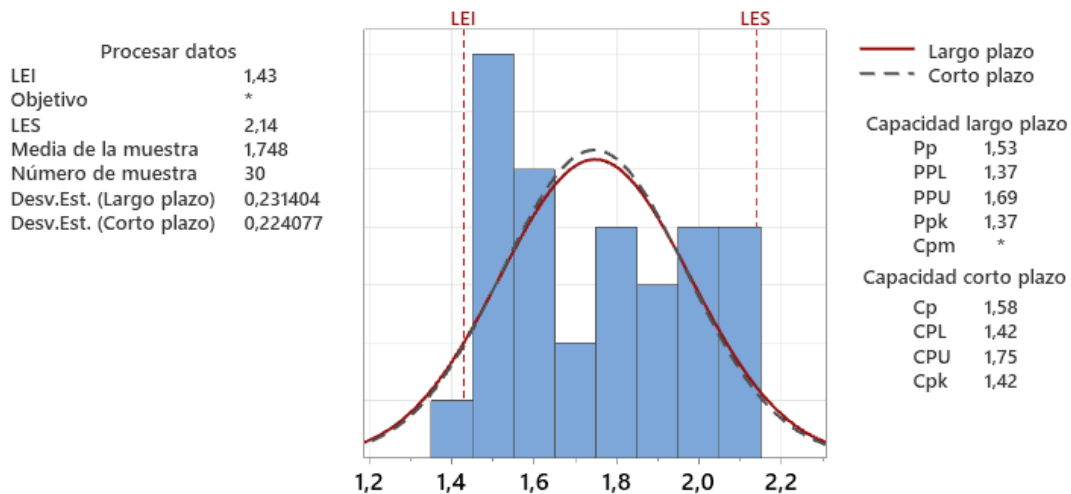


Gráfico 59-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 22.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 60-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 22.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=23 de contacto (Gráfica 61-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,663), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 23 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 62-4) en la hora=23, la concentración de OTC se encuentra entre $1,14\mu\text{M}$ y $1,71\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $0,57\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p= 1,72$) en la vigésima tercera hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es $1,61$ y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima tercera hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,61 < 1,72$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

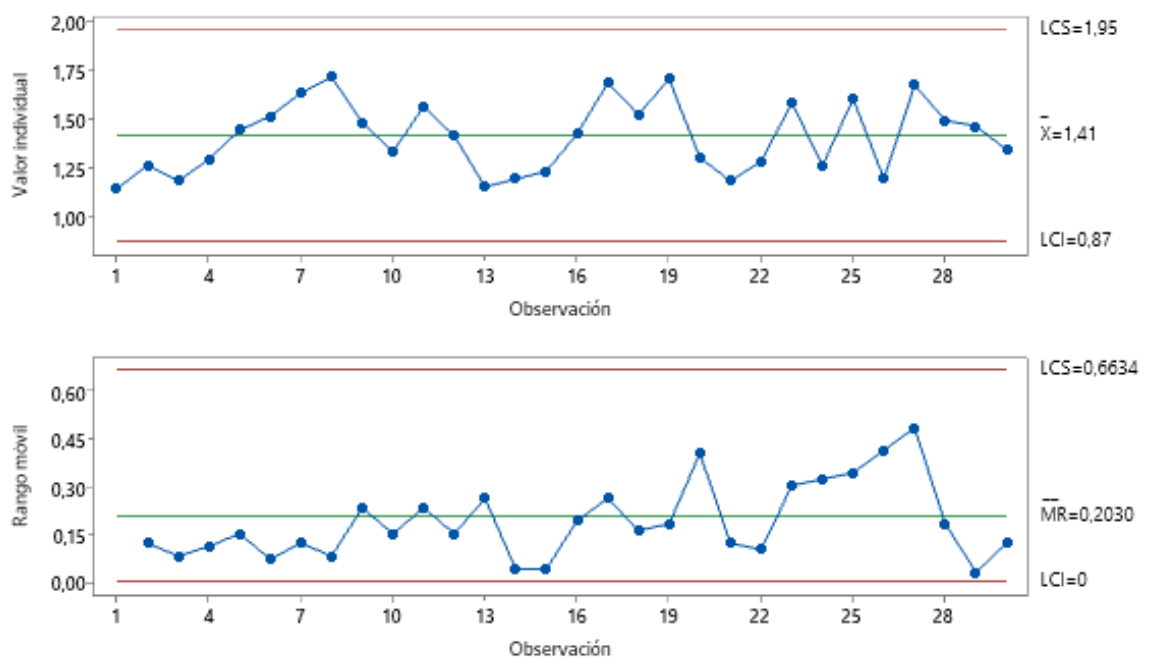
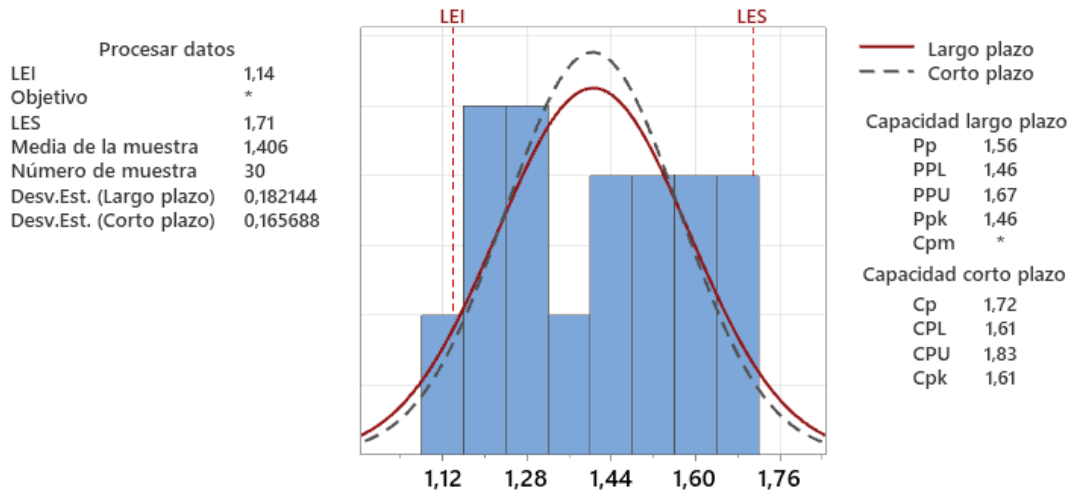


Gráfico 61-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 23.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 62-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 23.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=24 de contacto (Gráfica 63-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,553), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 24 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 64-4) en la hora=24, la concentración de OTC se encuentra entre $0,91\mu\text{M}$ y $1,37\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $0,46\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 1,73$) en la vigésima cuarta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,59 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima cuarta hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,59 < 1,73$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

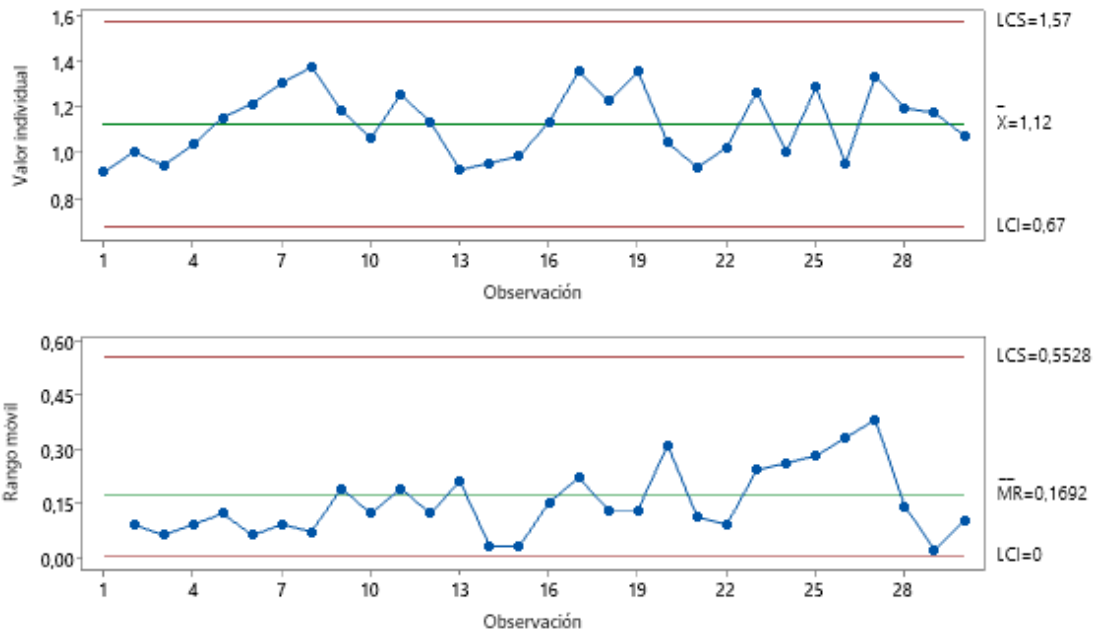
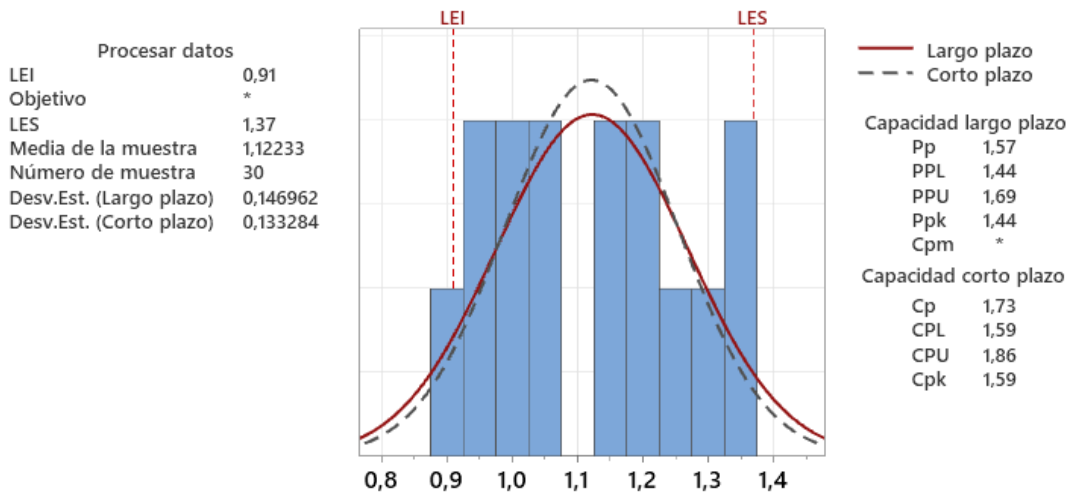


Gráfico 63-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 24.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 64-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 24.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=25 de contacto (Gráfica 65-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,405), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones

obtenidas a la hora= 25 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 66-4) en la hora=25, la concentración de OTC se encuentra entre $0,73\mu\text{M}$ y $1,09\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $0,36\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p = 1,74$) en la vigésima quinta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,60 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima quinta hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,60 < 1,74$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

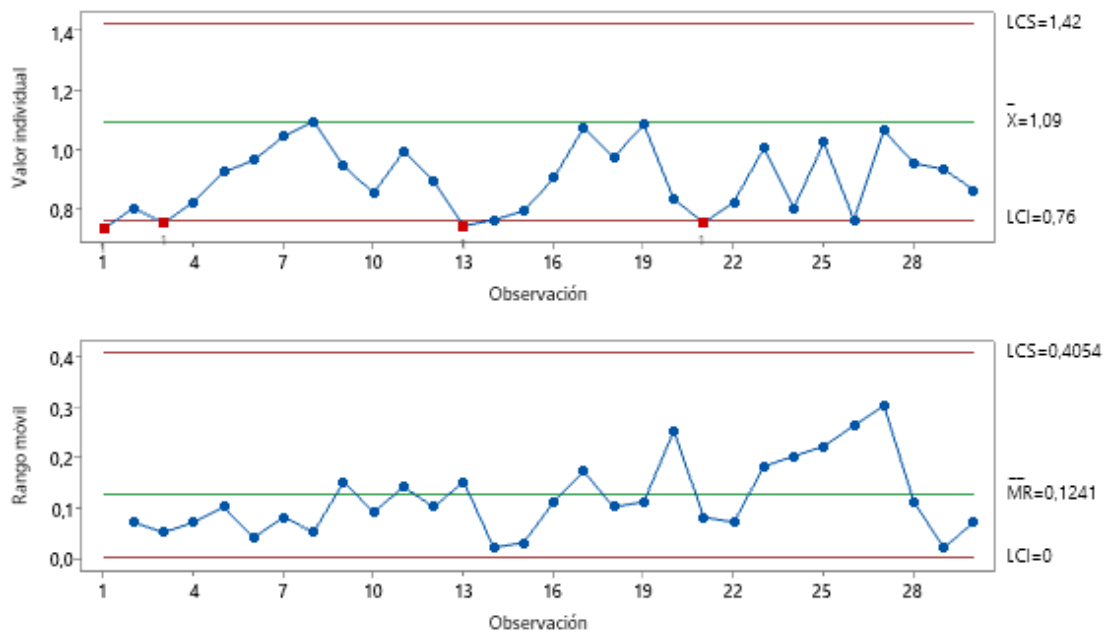
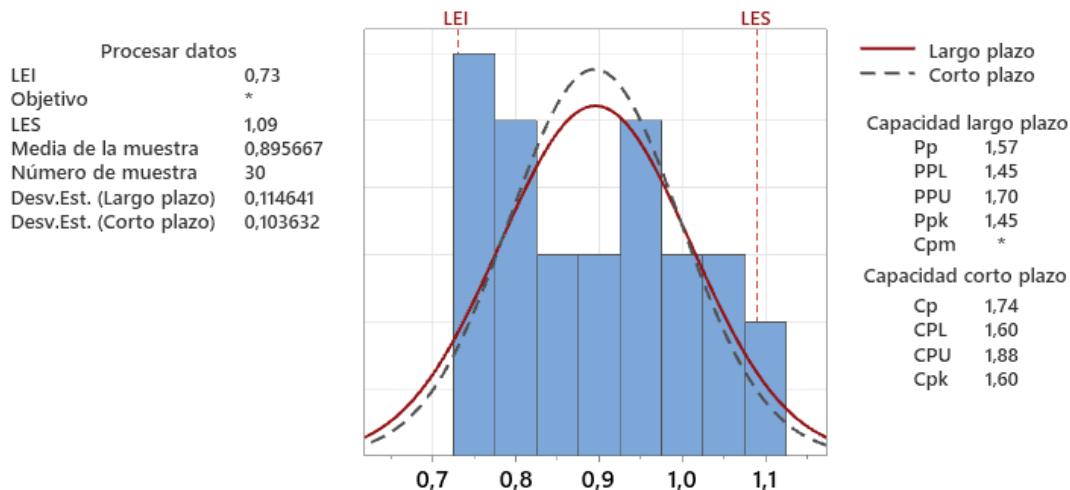


Gráfico 65-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 25.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 66-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 25.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras de diferentes concentraciones de OTC para la hora=26 de contacto (Gráfica 67-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre concentraciones es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,332), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos y al comparar las concentraciones obtenidas a la hora= 26 con los límites permisibles de OTC en leche de acuerdo a la norma CODEX CX/MRL 2-2018, estas concentraciones cumplen con la especificación.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) de eliminación de antibiótico (Gráfica 68-4) en la hora=26, la concentración de OTC se encuentra entre $0,58\mu\text{M}$ y $0,87\mu\text{M}$, existiendo entre las concentraciones un rango de $0,29\mu\text{M}$, además los datos se encuentran muy dispersos y no existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 1,76$) en la vigésima sexta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,64 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima sexta hora, $C_{pk} < C_p$ ($1,64 < 1,76$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para reducir OTC.

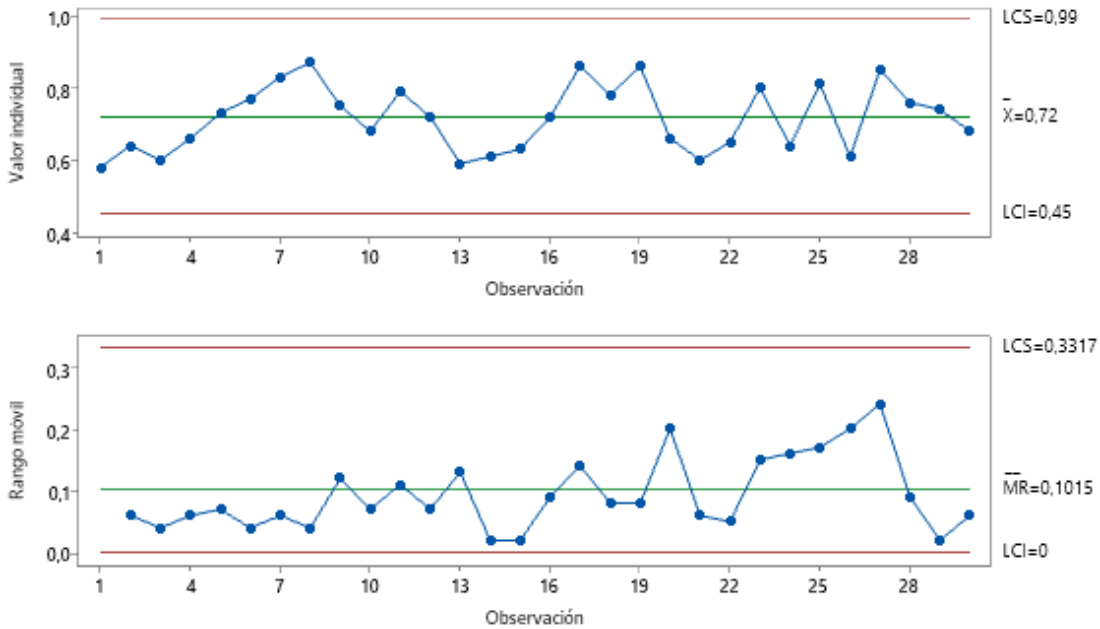
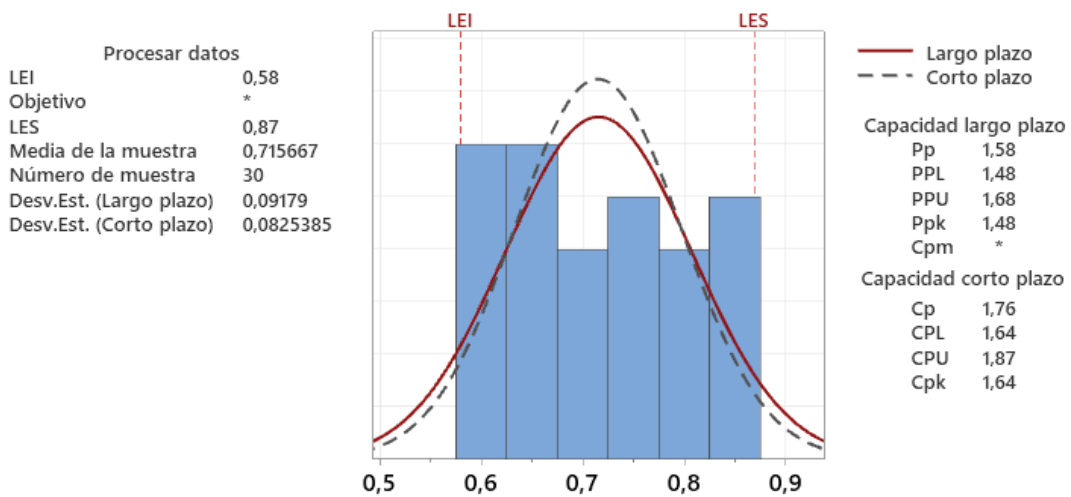


Gráfico 67-4. Gráfica de control de concentración de OTC durante la hora 26.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 68-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 26.

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

4.3. Porcentaje de remoción de OTC en leche cruda

Se realizó un análisis estadístico en MINITAB para el porcentaje de remoción de OTC en leche cruda para cada hora de contacto hasta las 8 horas, obteniéndose los siguientes resultados:

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora=1 de contacto (Gráfica 69-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,0940), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a

disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos excepto la muestra 1, cuyo porcentaje es menor al límite inferior, además los datos de porcentaje de remoción a la hora=1 aún no remueven la cantidad de OTC requerida por la norma, por tanto, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=2

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 70-4) en la hora=1, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 20% y 20,14%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,14%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p= 1,90$) en la primera hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, se tiene una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 0,71 y al ser menor del C_p obtenido en la primera hora $C_{pk} < C_p$ ($0,71 < 1,90$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que el proceso es eficaz, pero tiene la posibilidad de mejorar el porcentaje de remoción si se analizan ciertos factores que pueden interferir en la capacidad de remoción de OTC del proceso.

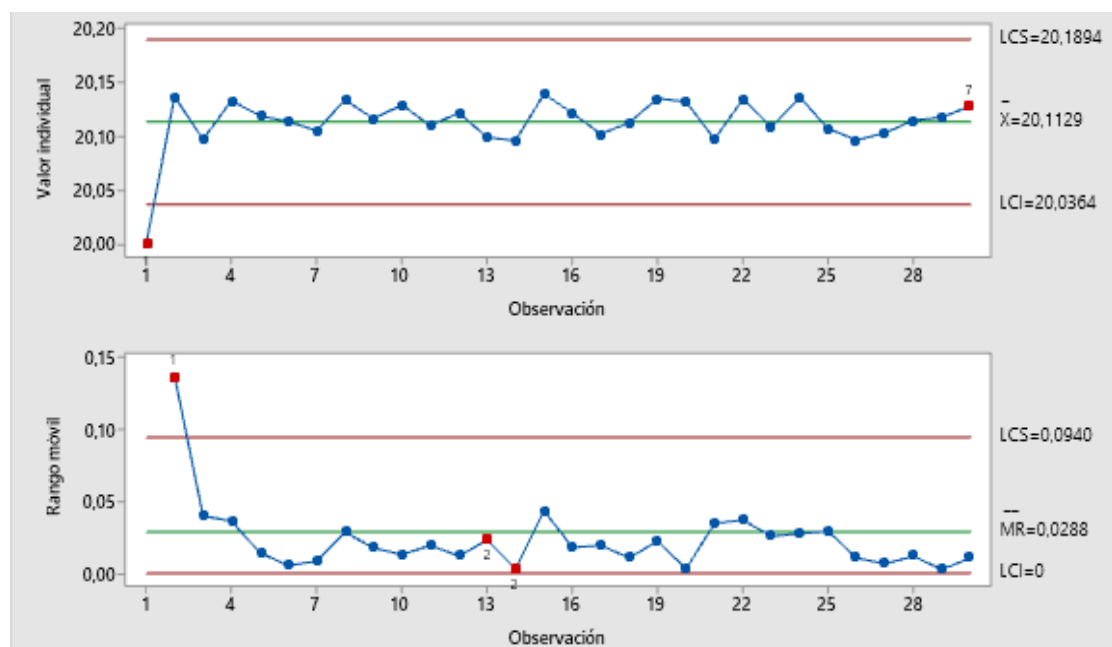
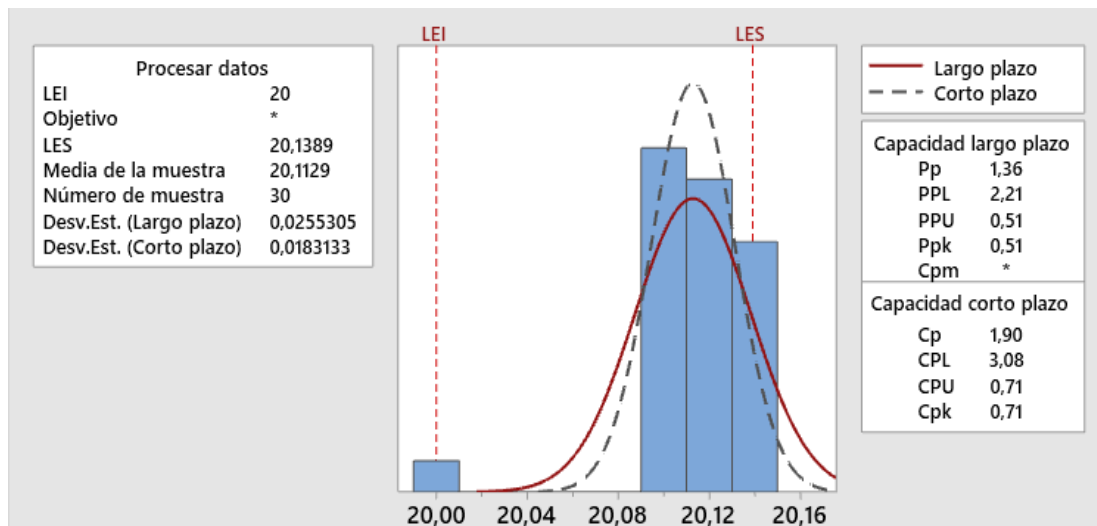


Gráfico 69-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 1.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 70-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 1.
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora=2 de contacto (Gráfica 71-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,048), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que las concentraciones tienden a disminuir. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, además los datos de porcentaje de remoción a la hora =2 aún no remueven la cantidad de OTC requerida por la norma, por tanto, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=3

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 72-4) en la hora=2, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 36,165% y 36,207%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,04%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial baja ($C_p = 0,81$) en la segunda hora de contacto, y al conocer que $0,67 \leq C_p < 1$, se tiene una baja reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 0,69 y al ser menor del C_p obtenido en la segunda hora $C_{pk} < C_p$ ($0,69 < 0,81$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso. Estos valores indican que el proceso es aceptable, pero tiene la posibilidad de mejorar el porcentaje de remoción si se analizan ciertos factores que pueden interferir en la capacidad de remoción de OTC del proceso.

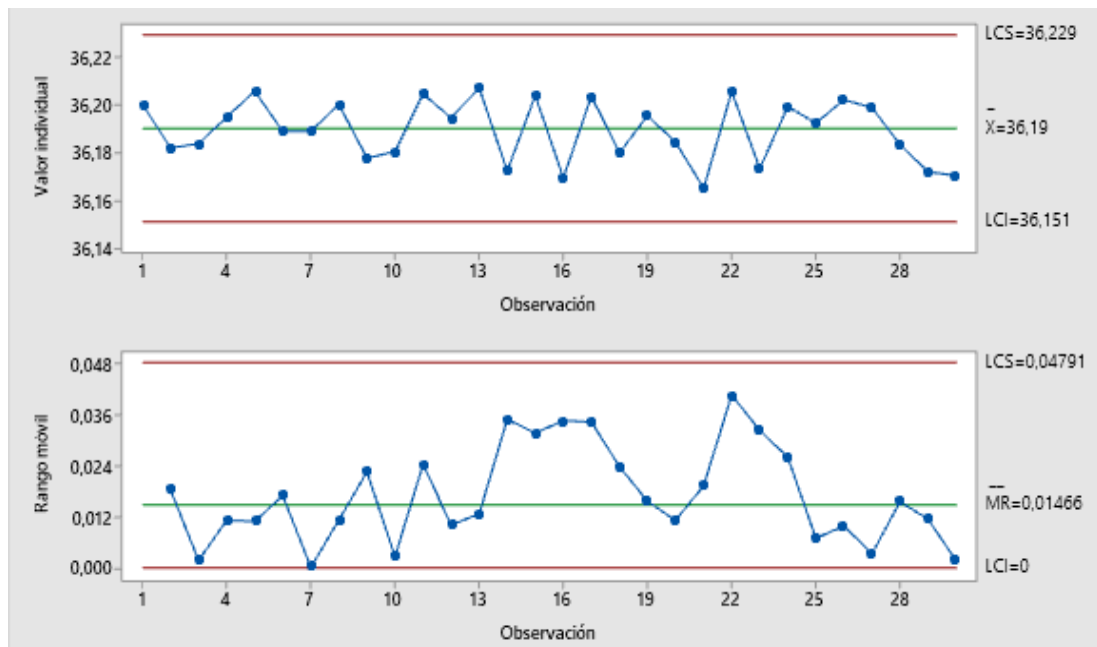
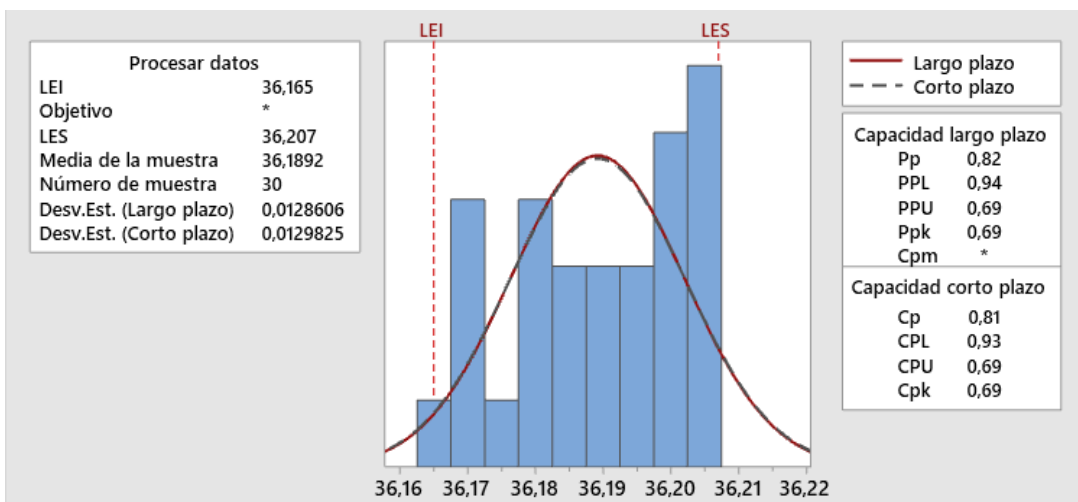


Gráfico 71-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 2.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 72-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 2.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora=3 de contacto (Gráfica 73-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0,041), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\overline{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, además los datos de porcentaje de remoción a la hora =3 aún no remueven la cantidad de OTC requerida por la norma, por tanto, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=4

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 74-4) en la hora=3, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 49,005% y 49,05%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,045%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial baja ($C_p= 0,65$) en la tercera hora de contacto, y al conocer que $C_p < 0,67$ sugiere que se tiene una baja reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 0,62 y al ser menor del C_p obtenido en la tercera hora $C_{pk} < C_p$ ($0,62 < 0,65$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso. Estos valores indican que el proceso es aceptable, pero tiene la posibilidad de mejorar el porcentaje de remoción si se analizan ciertos factores que pueden interferir en la capacidad de remoción de OTC del proceso.

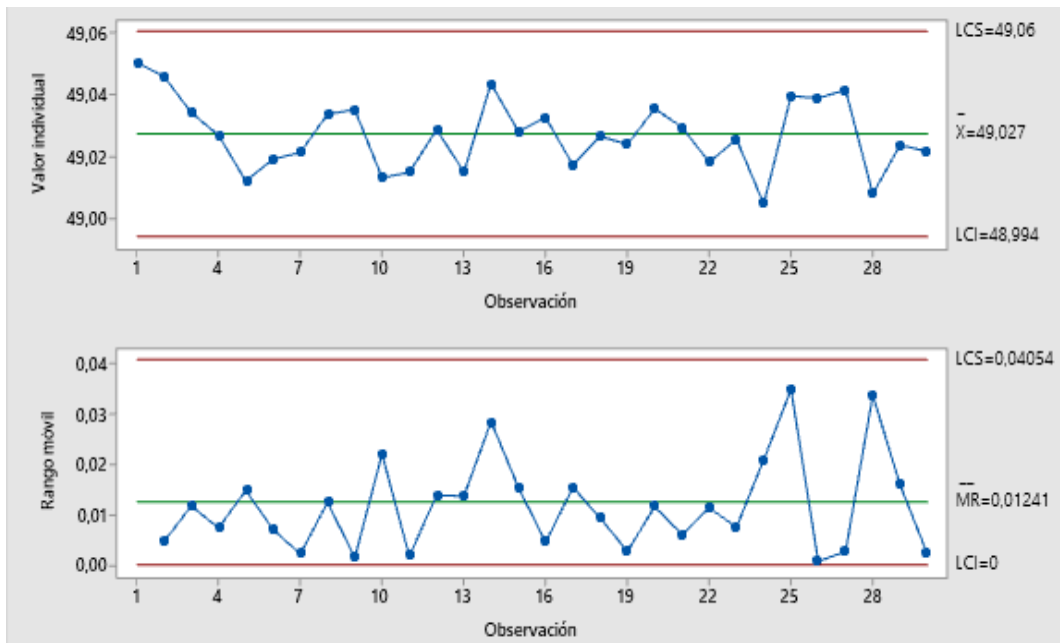


Gráfico 73-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 3.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

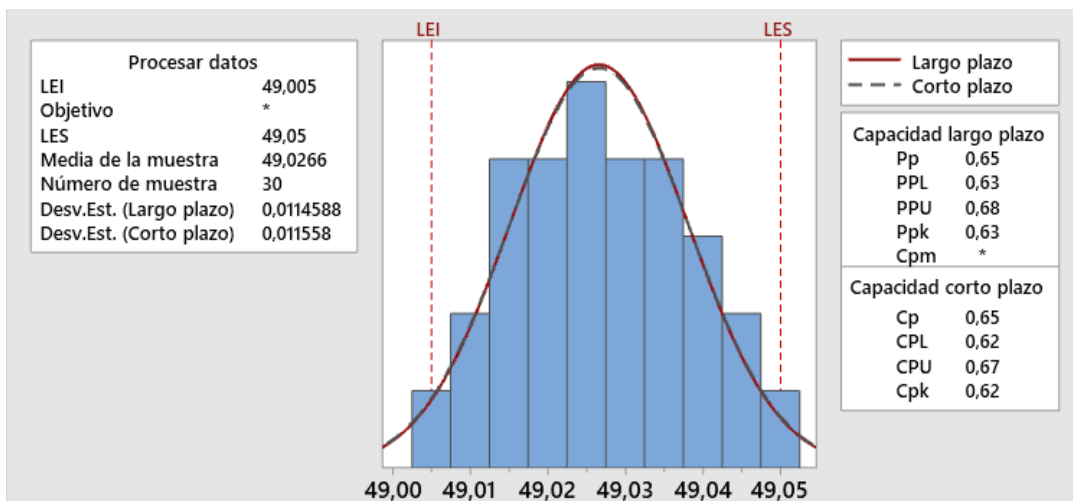


Gráfico 74-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 3.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 4 de contacto (Gráfica 75-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es alta, debido al amplio rango que se observa (0 a 34,88), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, además los datos de porcentaje de remoción a la hora =4 aún no remueven la cantidad de OTC requerida por la norma, por tanto, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora=5

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 76-4) en la hora=4, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 59,28% y 88,9%, existiendo entre los porcentajes un rango de 29,62%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe mucha variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial baja ($C_p = 0,52$) en la cuarta hora de contacto, y al conocer que $C_p < 0,67$ sugiere que se tiene una baja reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 0,48 y al ser menor del C_p obtenido en la cuarta hora $C_{pk} < C_p$ ($0,48 < 0,52$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso. Estos valores indican que el proceso es aceptable, pero tiene la posibilidad de mejorar el porcentaje de remoción si se analizan ciertos factores que pueden interferir en la capacidad de remoción de OTC del proceso.

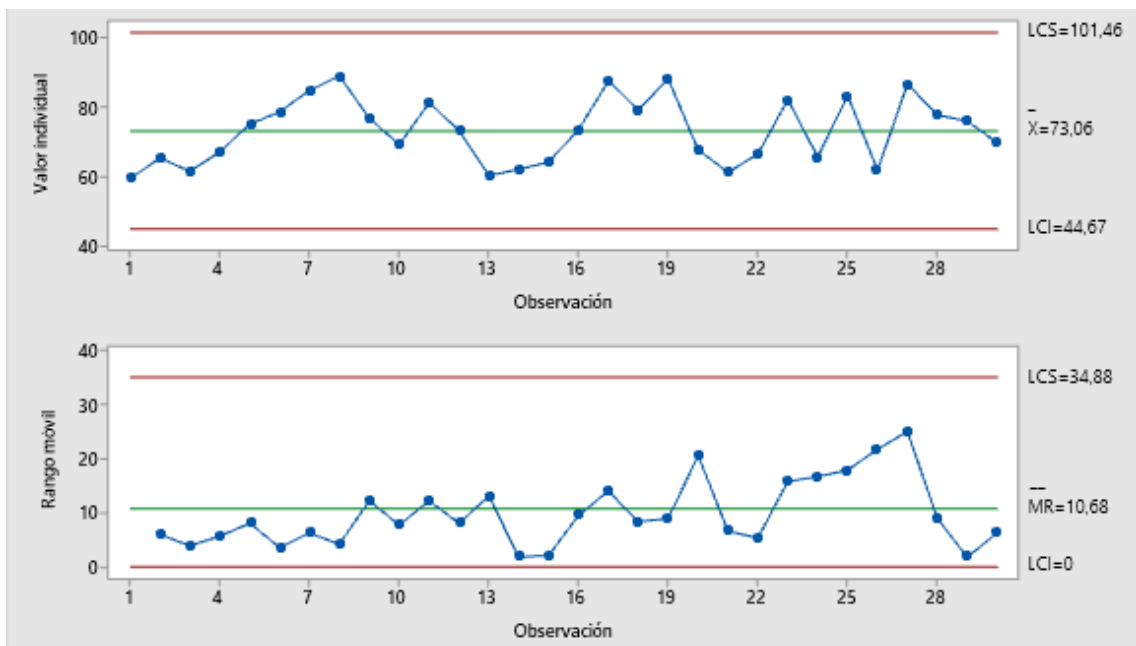
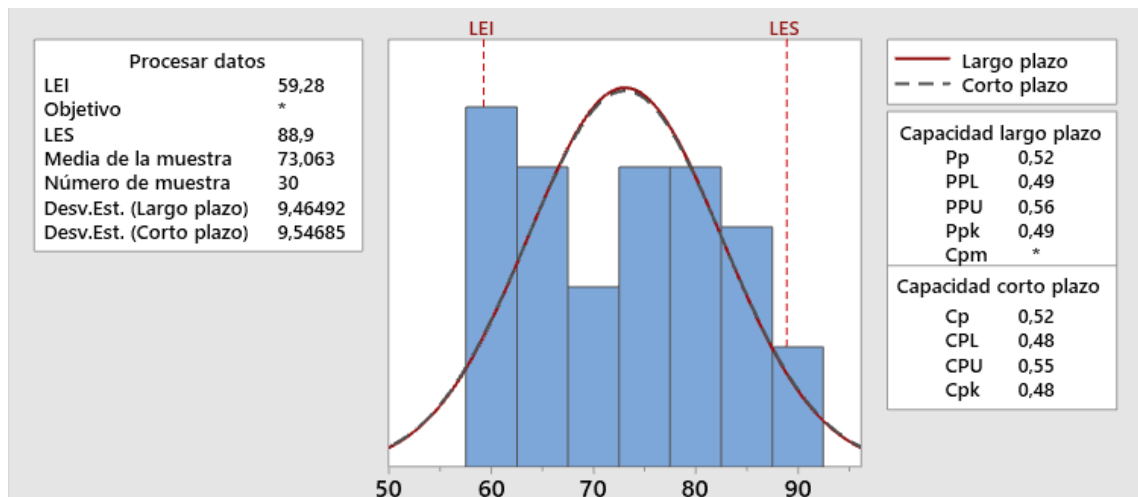


Gráfico 75-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 4.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 76-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 4.
 Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 5 de contacto (Gráfica 77-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al amplio rango que se observa (0 a 0.0037), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, además los datos de porcentaje de remoción a la hora = 5 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma, sin embargo, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora= 6

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 78-4) en la hora=5, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 67,471% y 67,475%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,0004%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 1,72$) en la quinta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para la reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,70 y al ser menor del C_p obtenido en la quinta hora $C_{pk} < C_p$ ($1,70 < 1,72$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad en el proceso enzimático para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

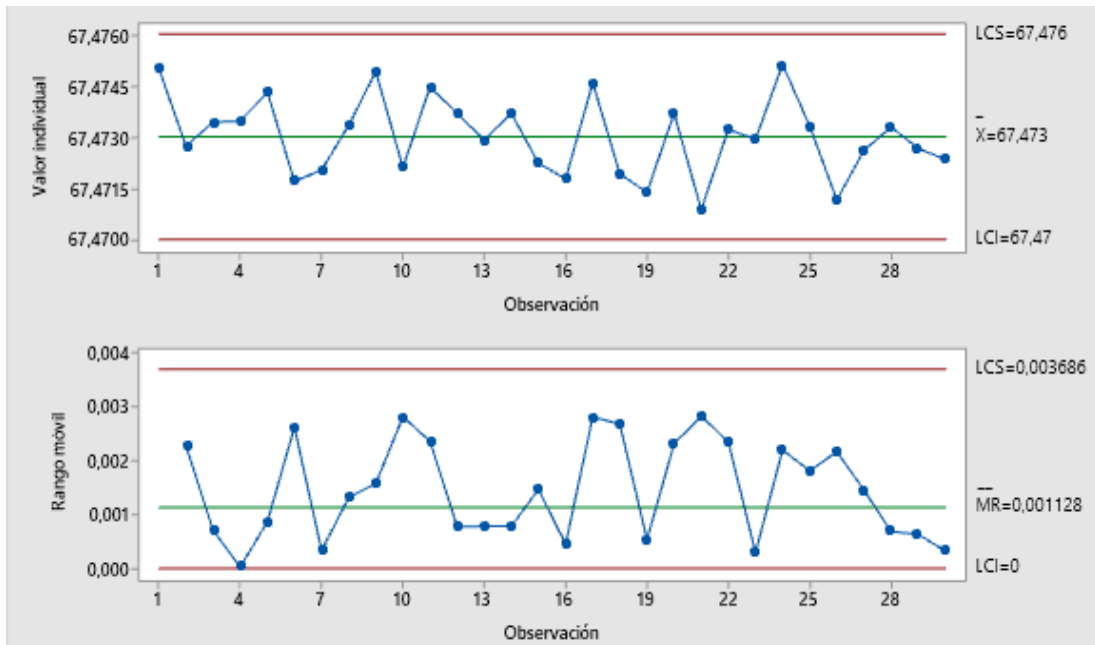
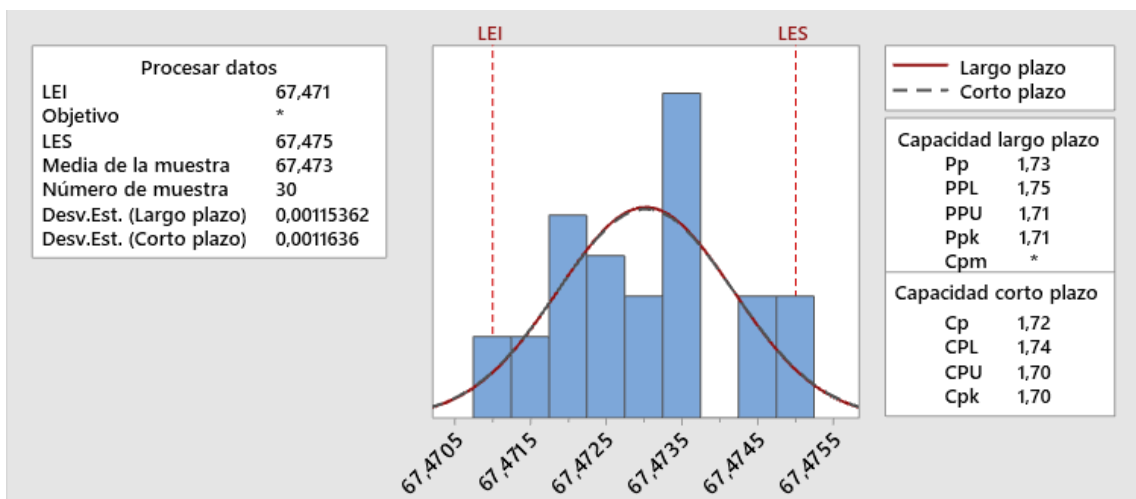


Gráfico 77-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 5.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 78-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 5.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 6 de contacto (Gráfica 79-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.0037), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\overline{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, además los datos de porcentaje de remoción a la hora = 6 muestran que se removi6 la cantidad de OTC requerida por la norma, sin embargo, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora= 7

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 80-4) en la hora=6, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 74,014% y 74,019%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,0005%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 1,80$) en la sexta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,73 y al ser menor del C_p obtenido en la sexta hora $C_{pk} < C_p$ ($1,73 < 1,80$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

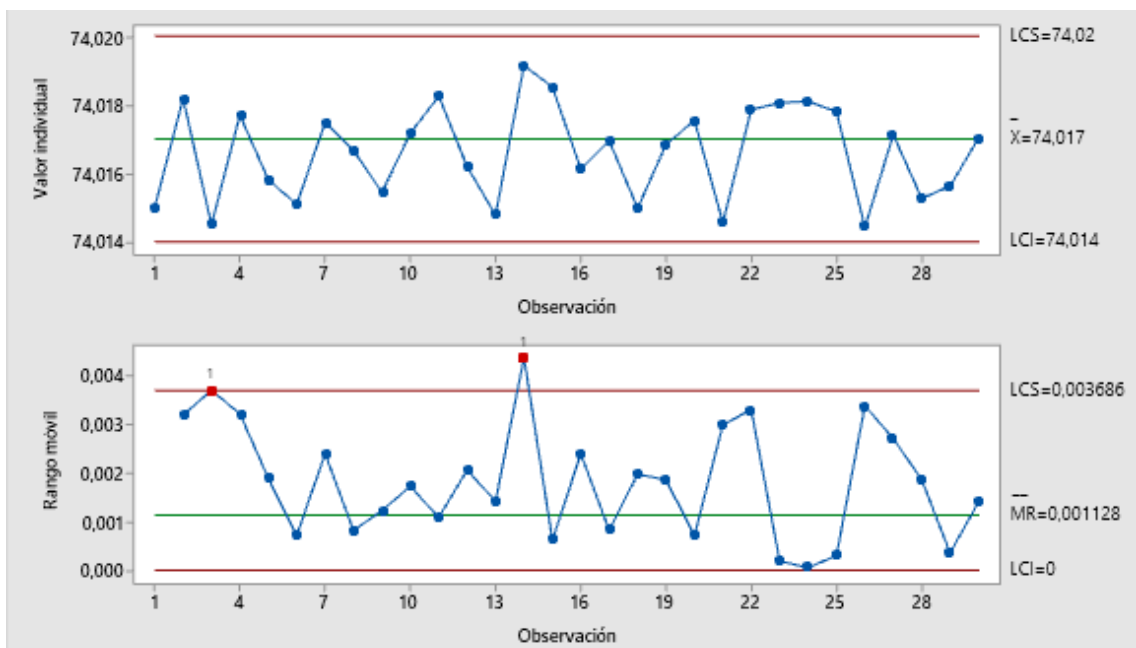
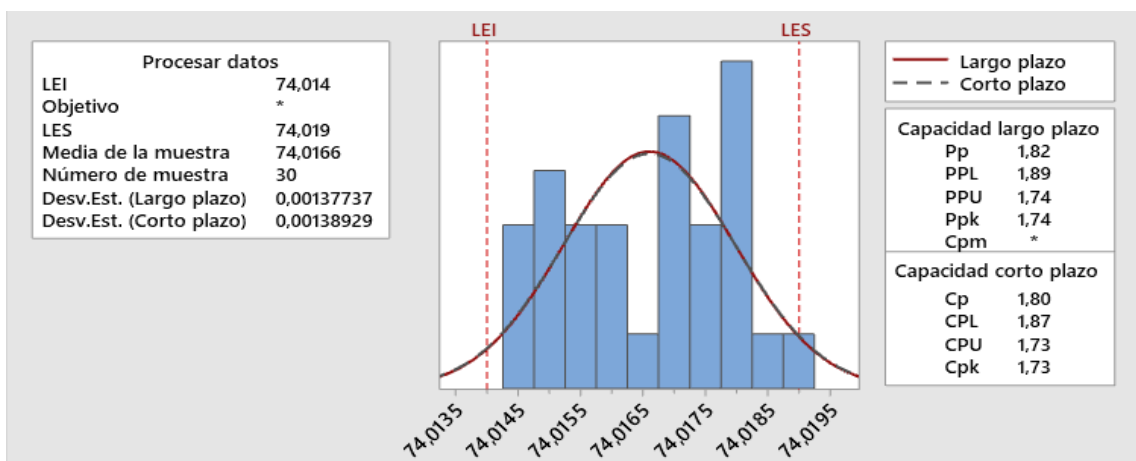


Gráfico 79-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 6.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 80-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 6.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 7 de contacto (Gráfica 81-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0,0011 y 0,0036), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, además los datos de porcentaje de remoción a la hora = 7 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma, sin embargo, se continúa observando el comportamiento de las muestras en la hora= 8

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 82-4) en la hora=7, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 79,242% y 79,246%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,0004%, además los datos se encuentran dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 2,97$) en la séptima hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 2,37 y al ser menor del C_p obtenido en la séptima hora $C_{pk} < C_p$ ($2,37 < 2,37$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC en leche cruda.

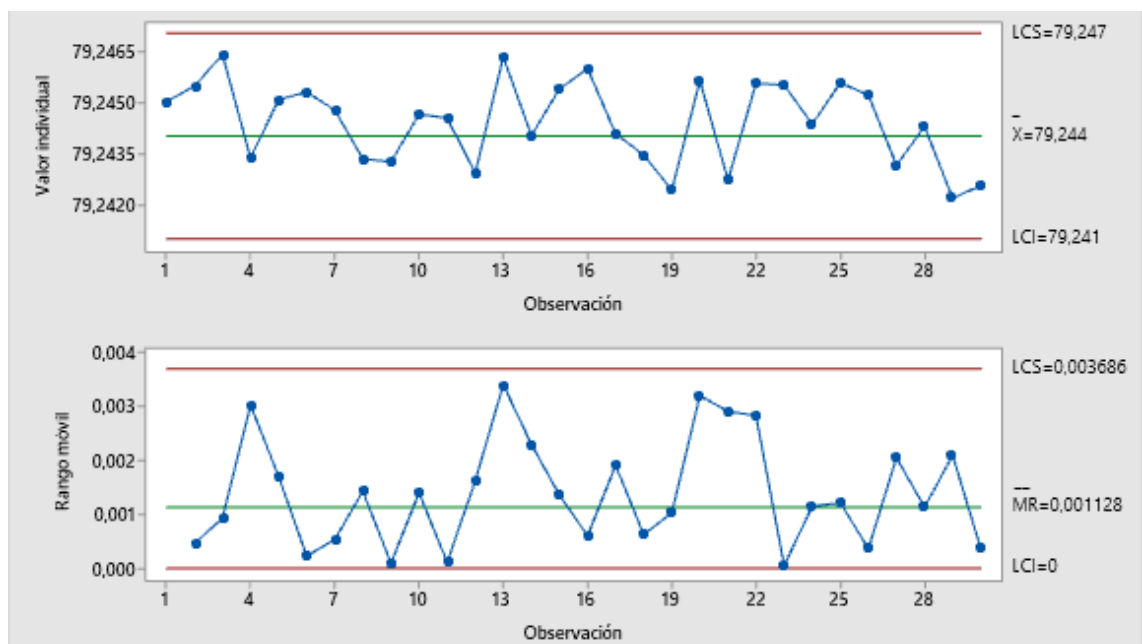
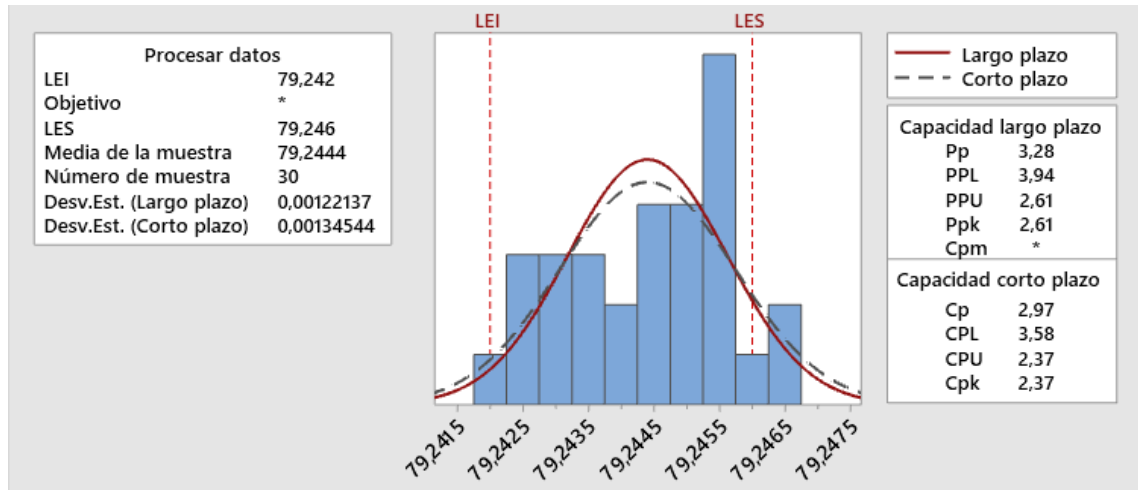


Gráfico 81-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 7.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 82-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 7.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 8 de contacto (Gráfica 83-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.07), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\overline{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos a excepción de la muestra 7 que corresponde a la concentración de 300 μ M, sin embargo, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 8 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 84-4) en la hora=8, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 83,421% y 83,403%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,018%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial muy alta ($C_p= 12,07$) en la octava hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,75 y al ser menor del C_p obtenido en la octava hora $C_{pk} < C_p$ ($1,75 < 12,07$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

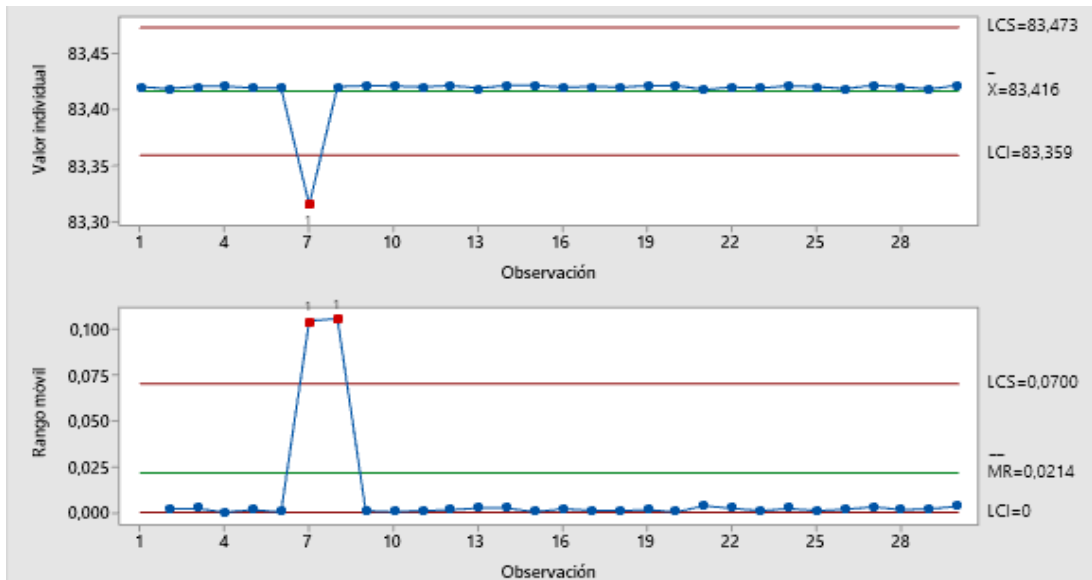
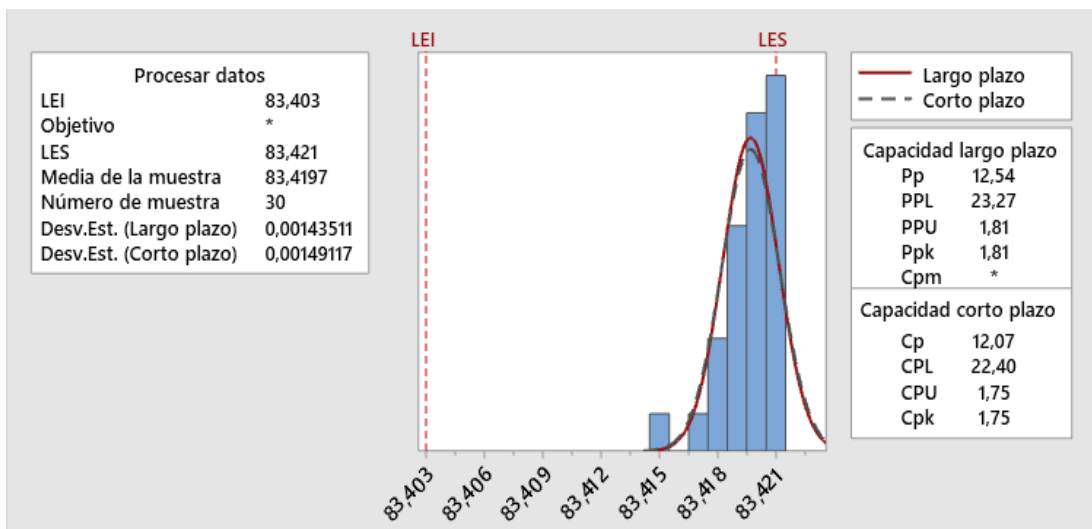


Gráfico 83-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 8.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 84-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 8.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 16 de contacto (Gráfica 85-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.004), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 16 muestran que se removi6 la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 86-4) en la hora=16, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 97,248% y 97,254%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,006%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 1,52$) en la décima sexta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,25 y al ser menor del C_p obtenido en la décima sexta hora $C_{pk} < C_p$ ($1,25 < 1,52$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

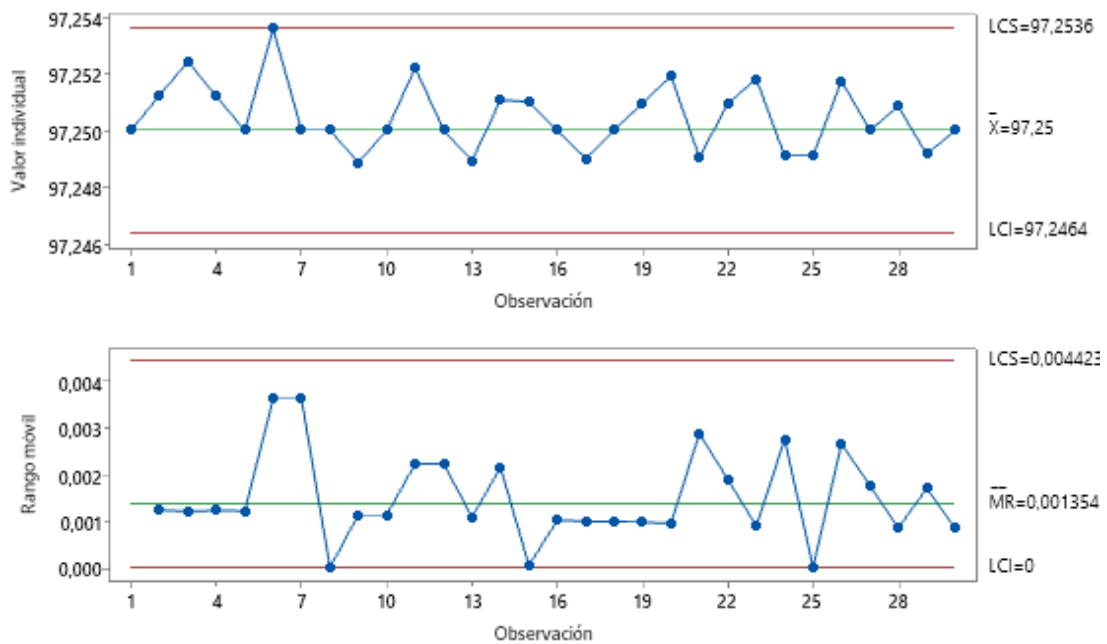
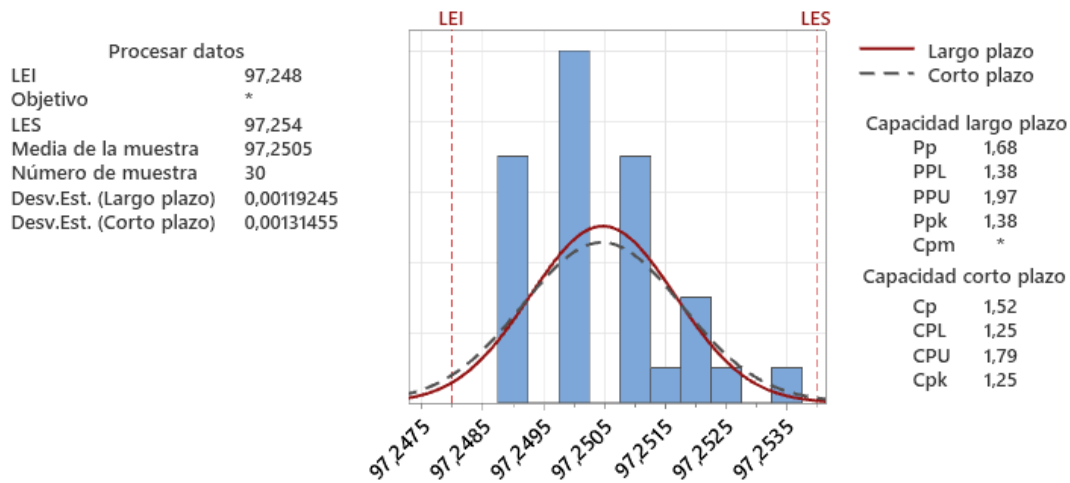


Gráfico 85-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 16.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 86-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 16.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 17 de contacto (Gráfica 87-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.0044), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 17 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 88-4) en la hora=17, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 97,801% y 97,804%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,003%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 1,74$) en la décima séptima hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,57 y al ser menor del C_p obtenido en la décima séptima hora $C_{pk} < C_p$ ($1,57 < 1,74$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

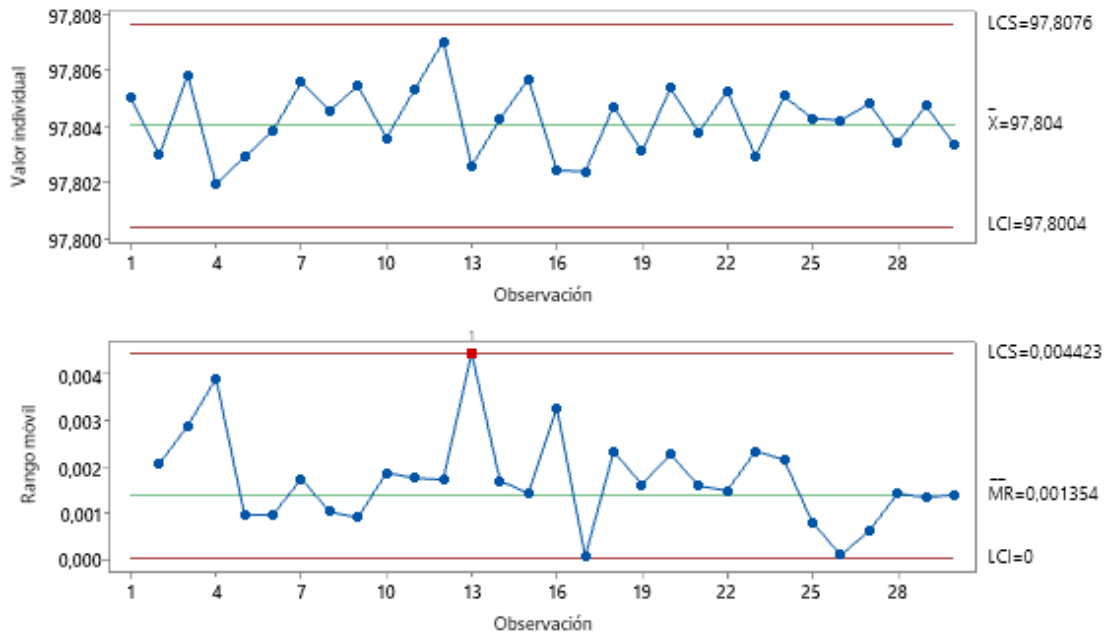
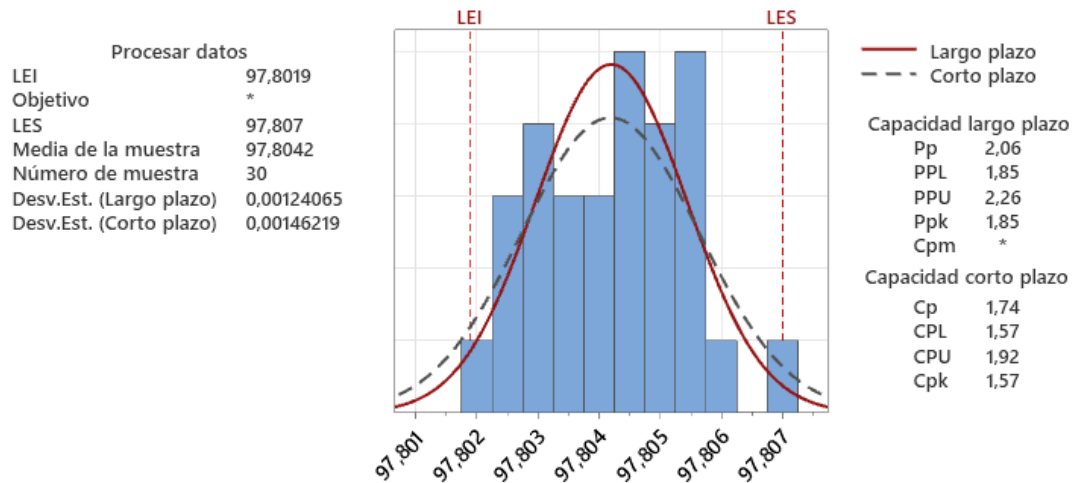


Gráfico 87-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 17.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 88-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 17.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 18 de contacto (Gráfica 89-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.0041), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\bar{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras

(\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 18 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 90-4) en la hora=18, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 98,244% y 98,248%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,004%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p= 1,99$) en la décima octava hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,79 y al ser menor del C_p obtenido en la décima octava hora $C_{pk} < C_p$ ($1,79 < 1,99$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

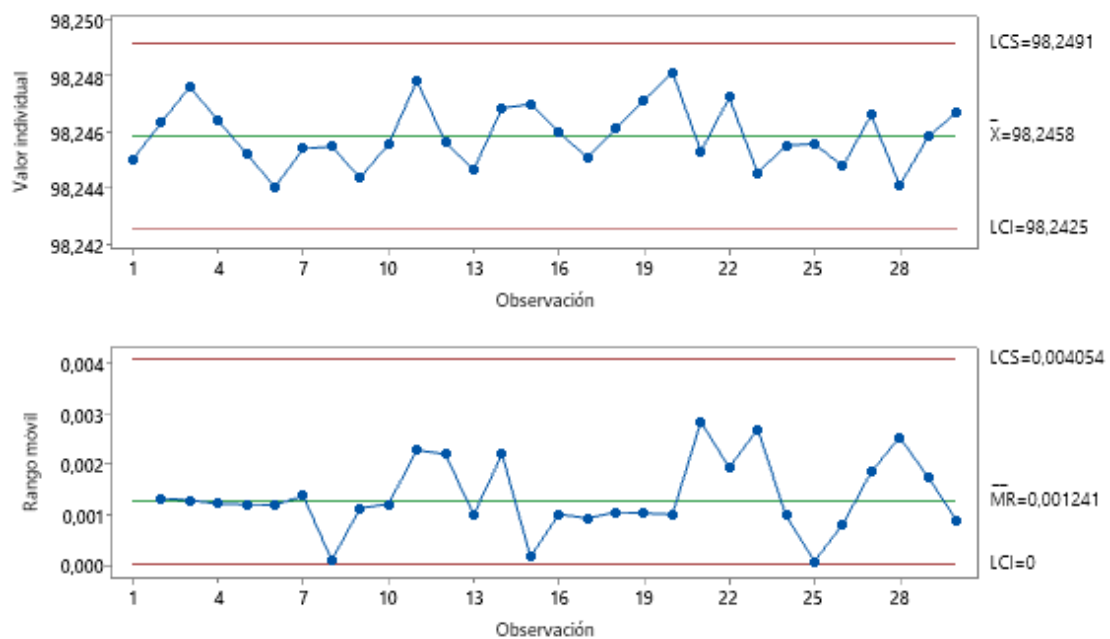
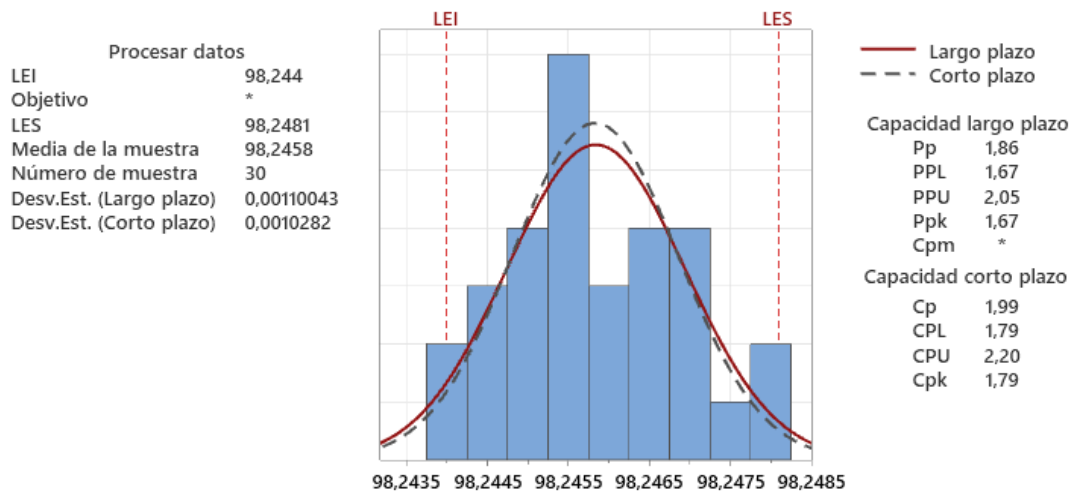


Gráfico 89-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 18.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 90-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 18.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 19 de contacto (Gráfica 91-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.0055), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\overline{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 19 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 92-4) en la hora=19, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 98,596% y 98,601%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,005%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 1,42$) en la décima novena hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,30 y al ser menor del C_p obtenido en la décima novena hora $C_{pk} < C_p$ ($1,30 < 1,42$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

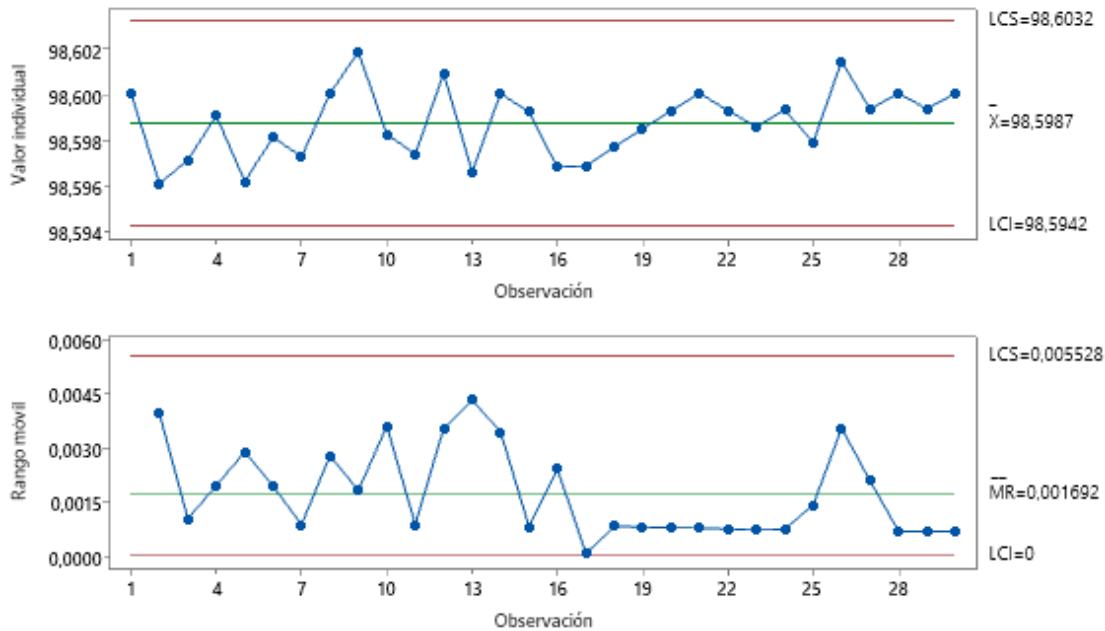
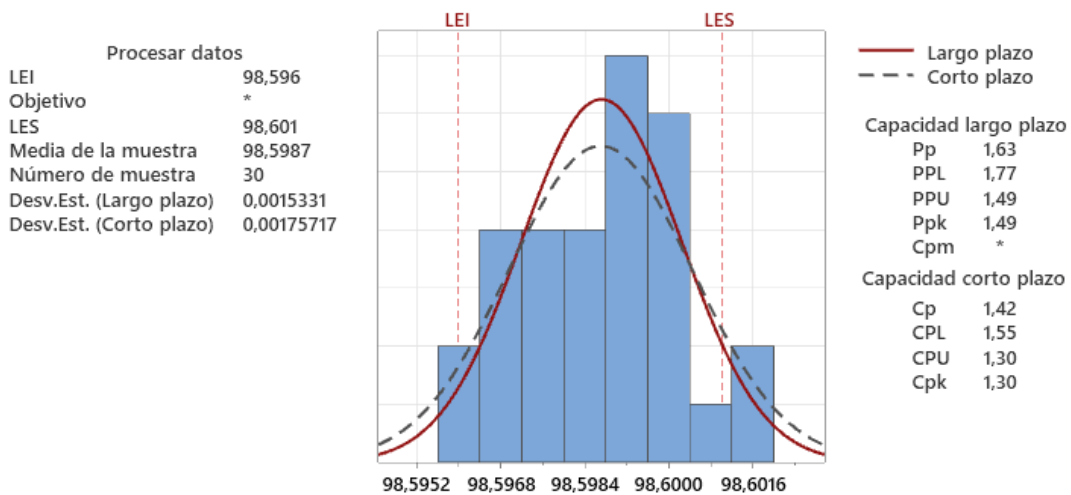


Gráfico 91-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 19.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 92-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 19.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 20 de contacto (Gráfica 93-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.004), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\overline{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 20 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 94-4) en la hora=20, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 98,879% y 98,882%, existiendo

entre los porcentajes un rango de 0,003%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 1,72$) en la vigésima hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,50 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima hora $C_{pk} < C_p$ ($1,50 < 1,72$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

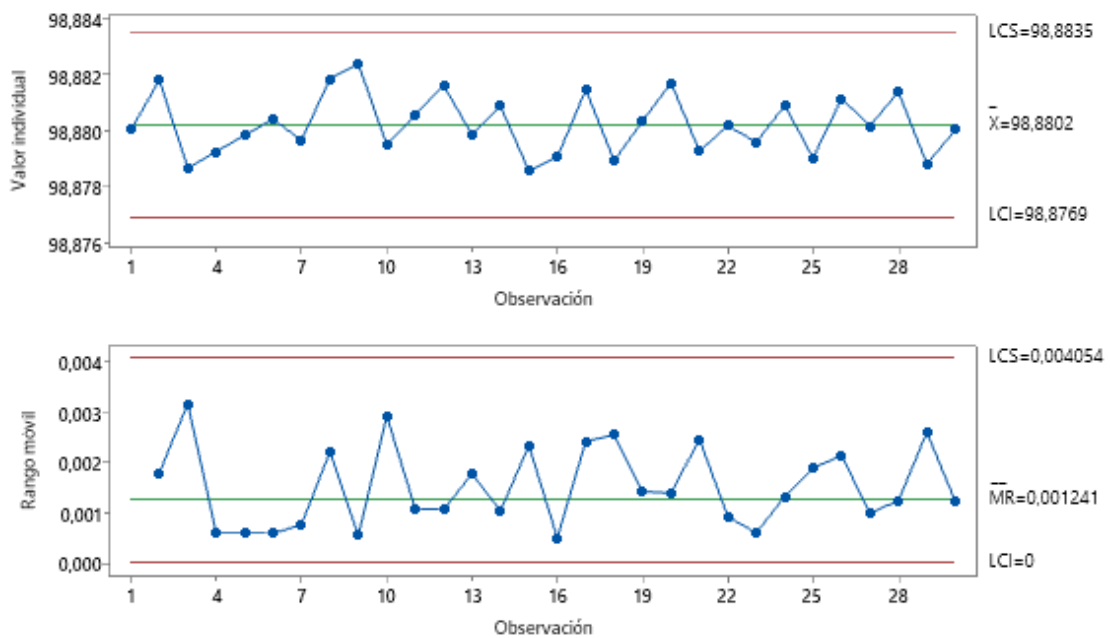
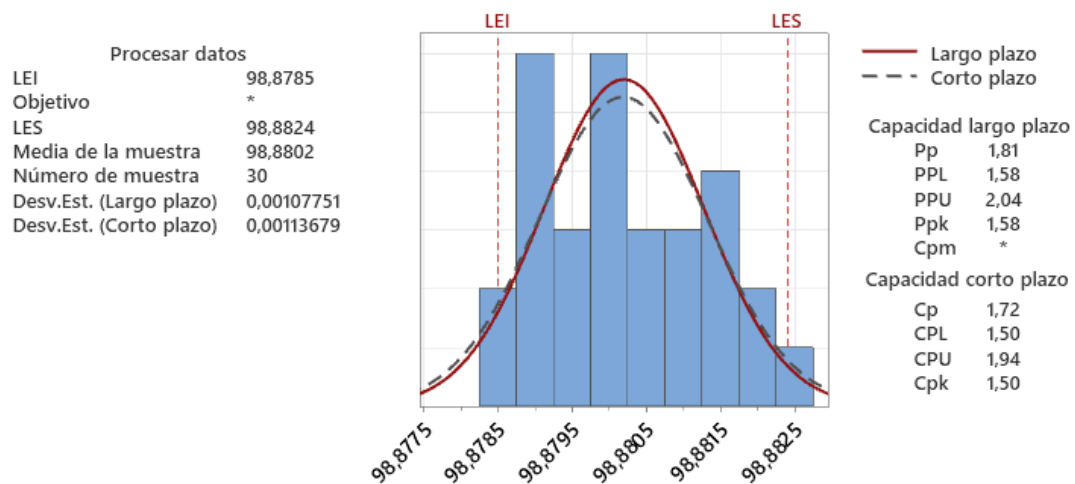


Gráfico 93-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 20.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 94-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 20.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 21 de contacto (Gráfica 95-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.0036), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 21 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 96-4) en la hora=21, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 99,103% y 99,107%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,004%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p= 1,70$) en la vigésima primera hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,47 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima primera hora $C_{pk} < C_p$ ($1,47 < 1,70$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

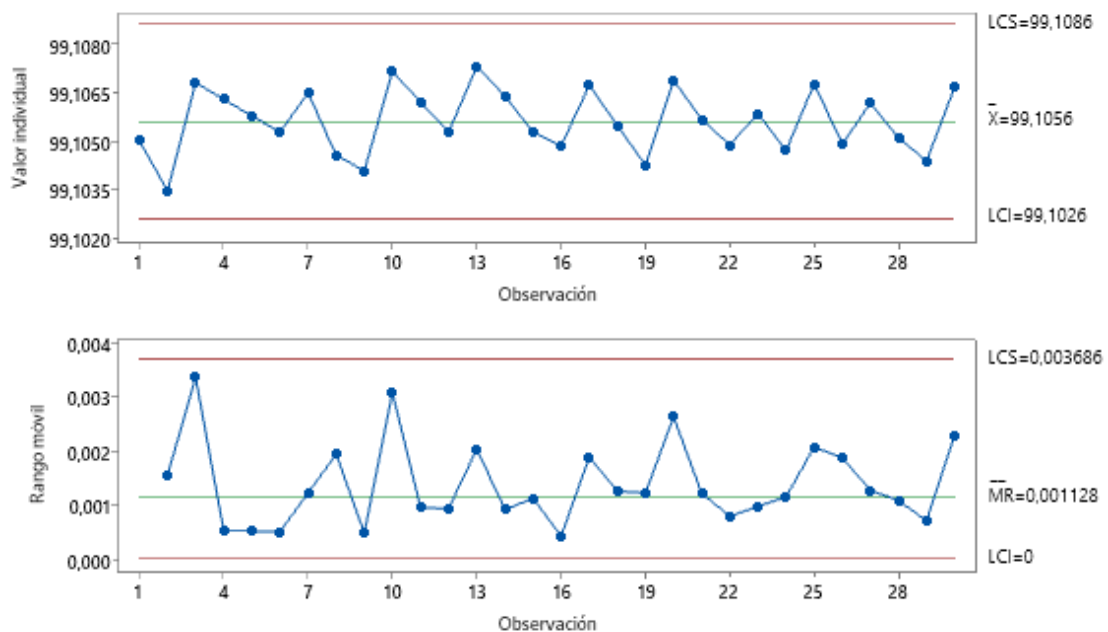
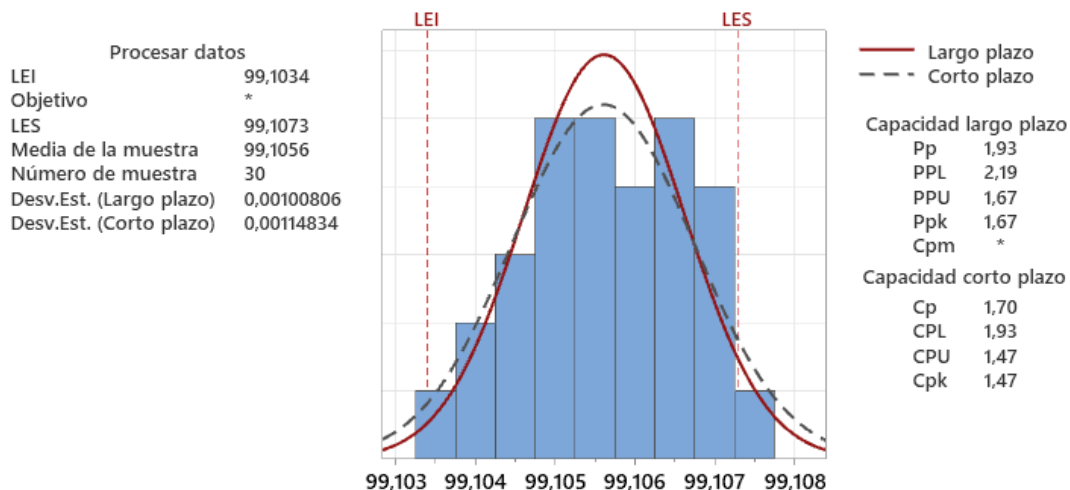


Gráfico 95-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 21.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 96-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 21.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 22 de contacto (Gráfica 97-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.004), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 22 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 98-4) en la hora=22, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 99,284% y 99,288%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,004%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 2,08$) en la vigésima segunda hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 2,00 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima segunda hora $C_{pk} < C_p$ ($2,00 < 2,08$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

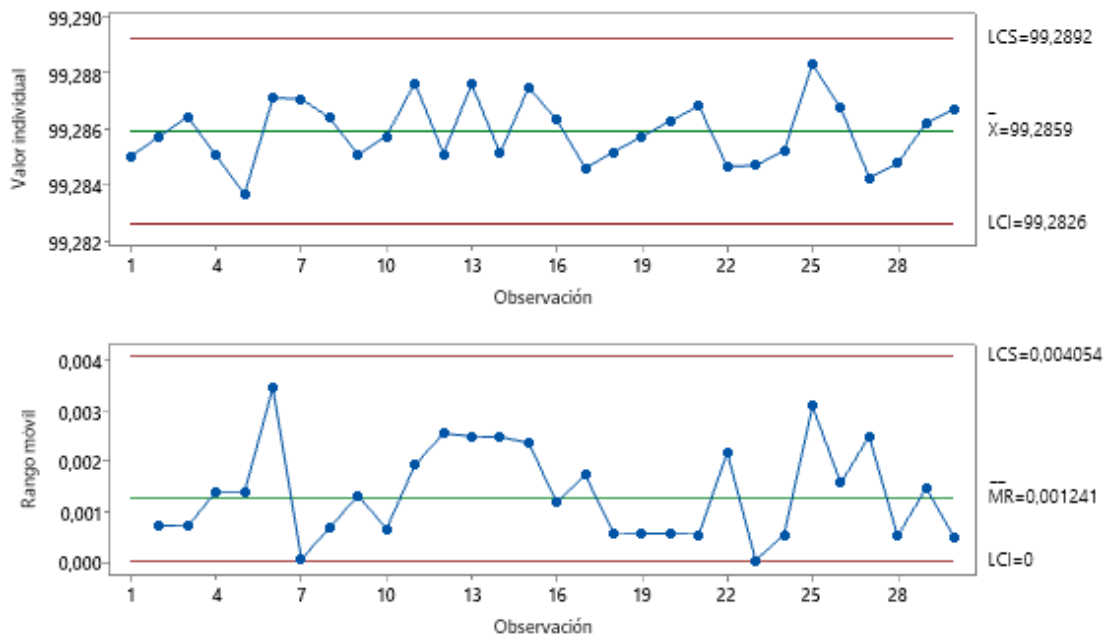


Gráfico 97-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 22.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

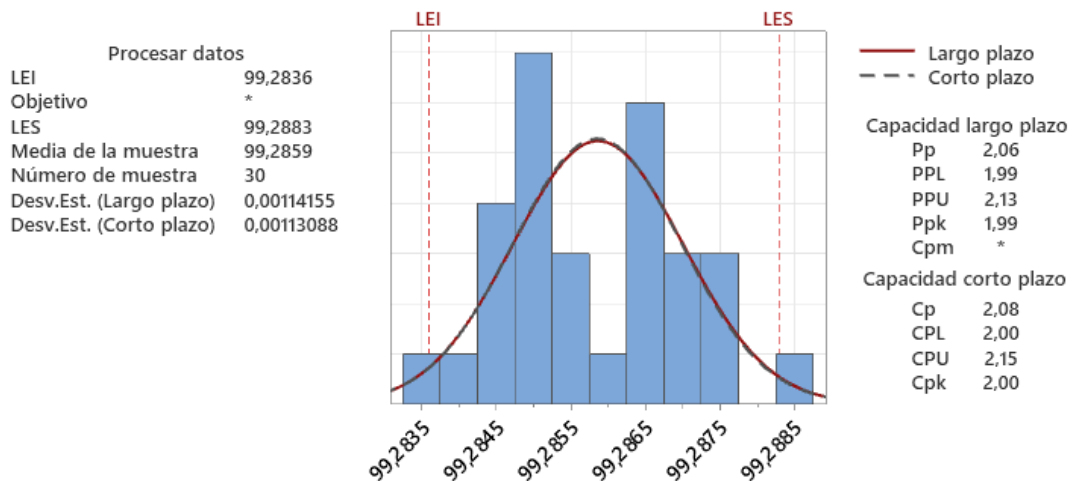


Gráfico 98-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 22.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 23 de contacto (Gráfica 99-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.005), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\bar{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 23 muestran que se removi6 la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 100-4) en la hora=23, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 99,427% y 99,434%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,007%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p= 2,12$) en la vigésima tercera hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,69 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima tercera hora $C_{pk} < C_p$ ($2,12 < 1,69$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

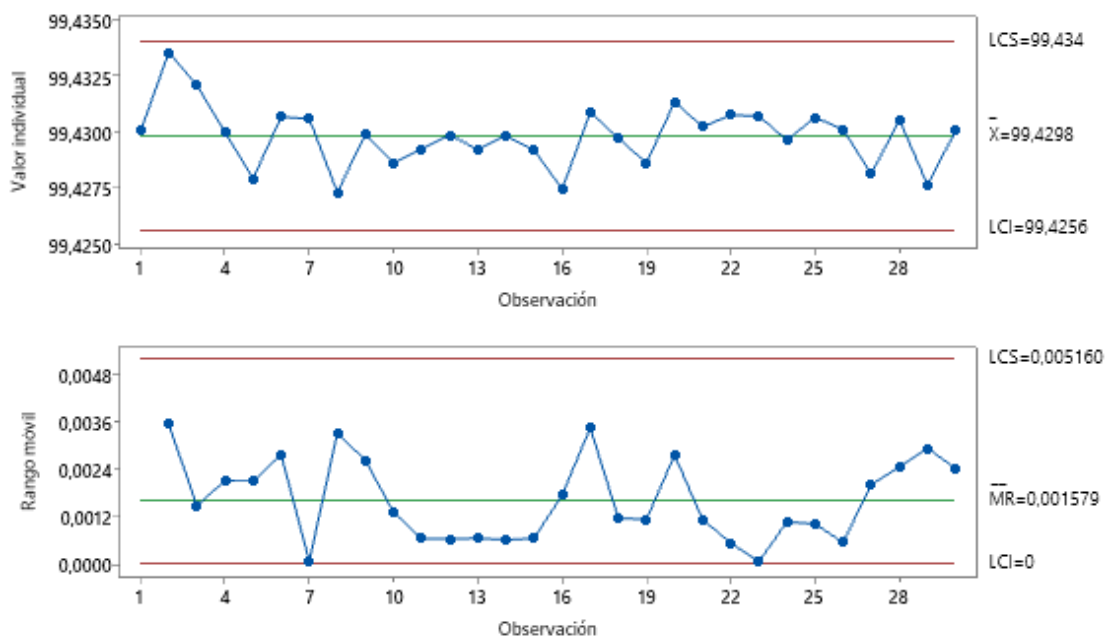
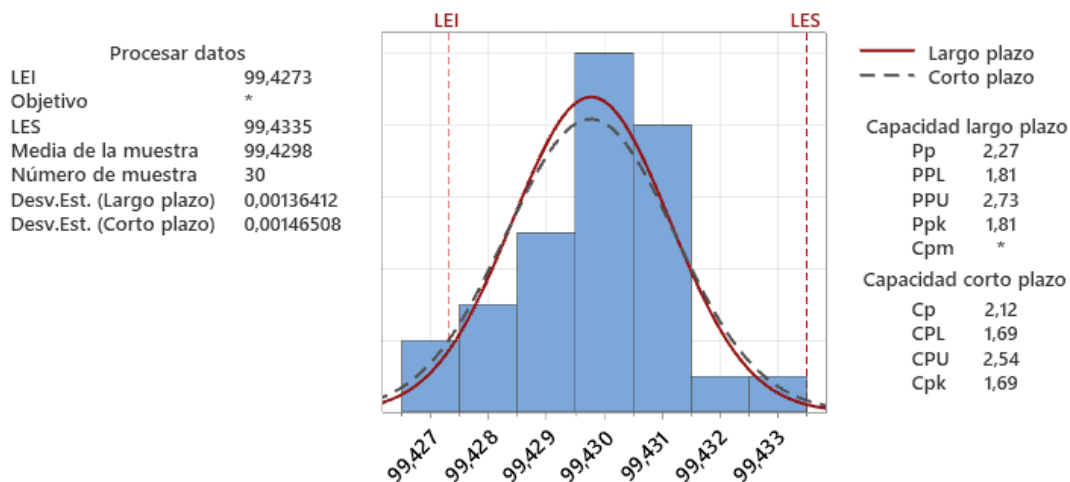


Gráfico 99-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 23.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 100-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 23.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 24 de contacto (Gráfica 101-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.005), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\overline{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 24 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 102-4) en la hora=24, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 99,542% y 99,548%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,006%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 2,38$) en la vigésima cuarta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 1,85 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima cuarta hora $C_{pk} < C_p$ ($1,85 < 2,38$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

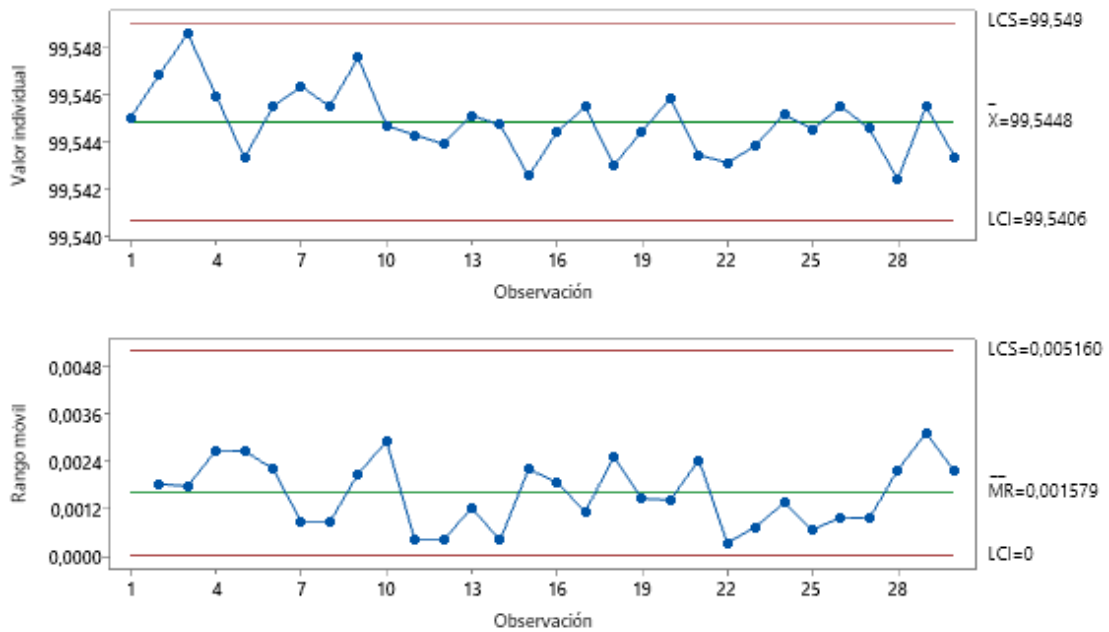
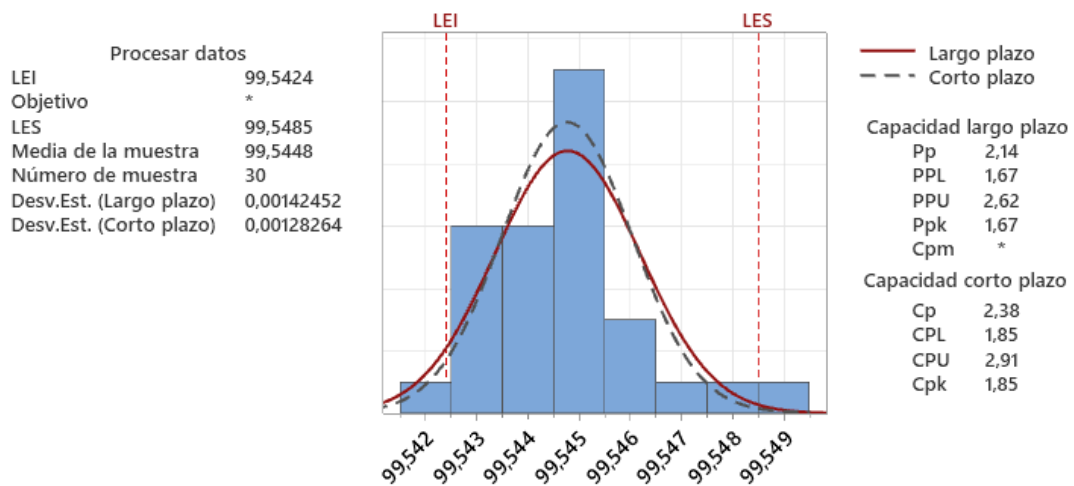


Gráfico 101-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 24.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 102-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 24.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 25 de contacto (Gráfica 103-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.004), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 25 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 104-4) en la hora=25, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 99,634% y 99,639%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,005%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p= 2,34$) en la vigésima quinta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 2,33 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima quinta hora $C_{pk} < C_p$ ($2,33 < 2,34$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

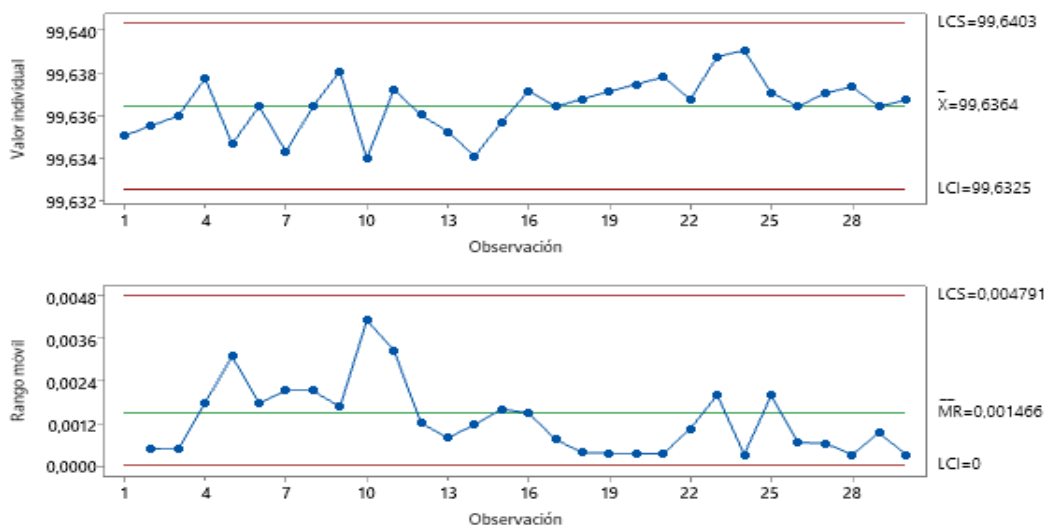
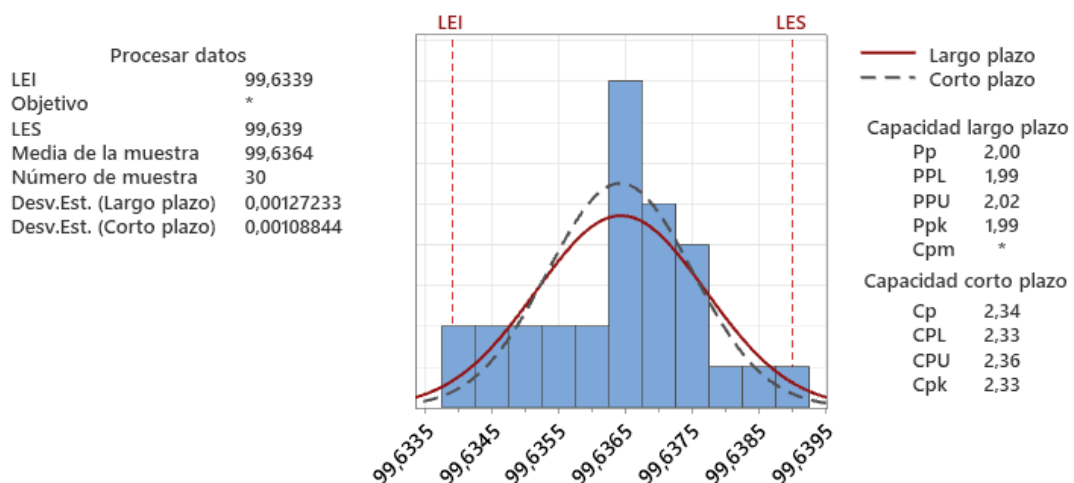


Gráfico 103-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 25
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 104-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 25.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

De acuerdo a la gráfica del rango móvil de las 30 muestras para el porcentaje de remoción de OTC en la hora= 26 de contacto (Gráfica 105-4), indica que estadísticamente la variabilidad entre porcentajes de remoción es baja, debido al estrecho rango que se observa (0 a 0.004), los datos están cercanos al límite de control inferior (LCI) al igual que la media del rango (\overline{MR}), lo que indica que el modelamiento está funcionando correctamente ya que el porcentaje de remoción tiende a incrementar. Por otra parte, en la gráfica de valores individuales, la media de las muestras (\bar{X}) indica que los datos están dentro de los límites de control establecidos, los datos de porcentaje de remoción a la hora = 26 muestran que se removió la cantidad de OTC requerida por la norma.

Con respecto a la capacidad del proceso (C_p) para la eliminación de OTC (Gráfica 106-4) en la hora=26, el porcentaje de remoción de OTC se encuentra entre 99,707% y 99,711%, existiendo entre los porcentajes un rango de 0,004%, además los datos se encuentran muy dispersos y existe poca variabilidad entre ellos. Al tener una capacidad potencial alta ($C_p = 2,60$) en la vigésima sexta hora de contacto, y al conocer que un proceso es muy capaz si el $C_p > 1$, tenemos una proyección muy adecuada para el incremento del porcentaje de reducción de OTC en el transcurso del tiempo. Por otra parte, la capacidad real (C_{pk}) es 2,17 y al ser menor del C_p obtenido en la vigésima sexta hora $C_{pk} < C_p$ ($2,17 < 2,60$), se puede observar que se tiene la capacidad de mejorar el proceso, aun sabiendo que el rendimiento del proceso es muy alto al ser C_p y C_{pk} mayor a 1. Estos valores indican que la lacasa tiene una alta efectividad para incrementar el porcentaje de remoción de OTC.

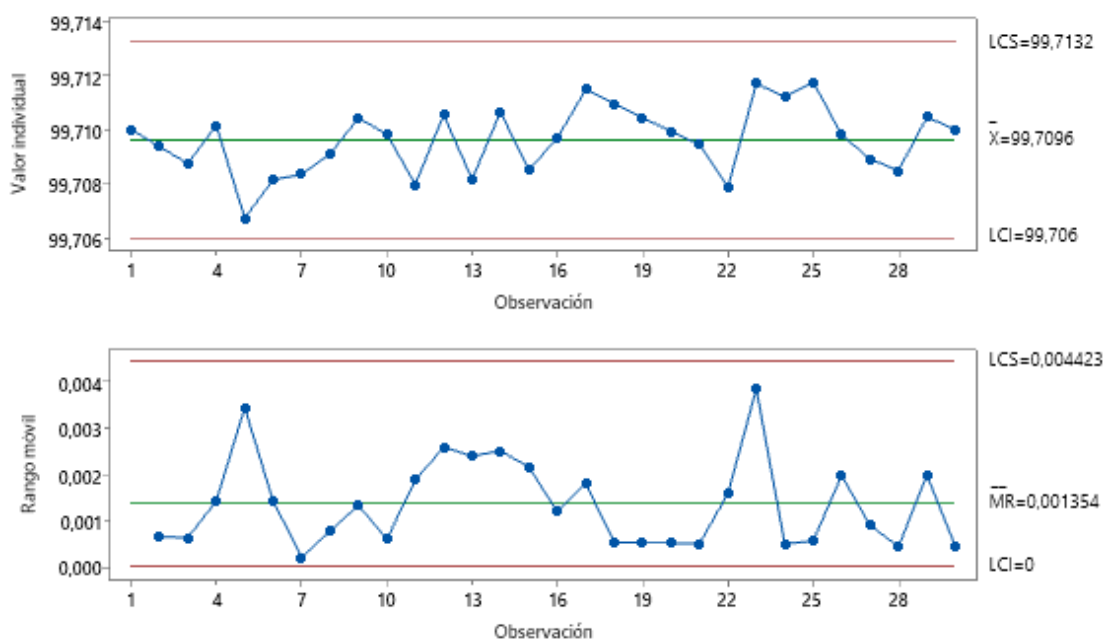
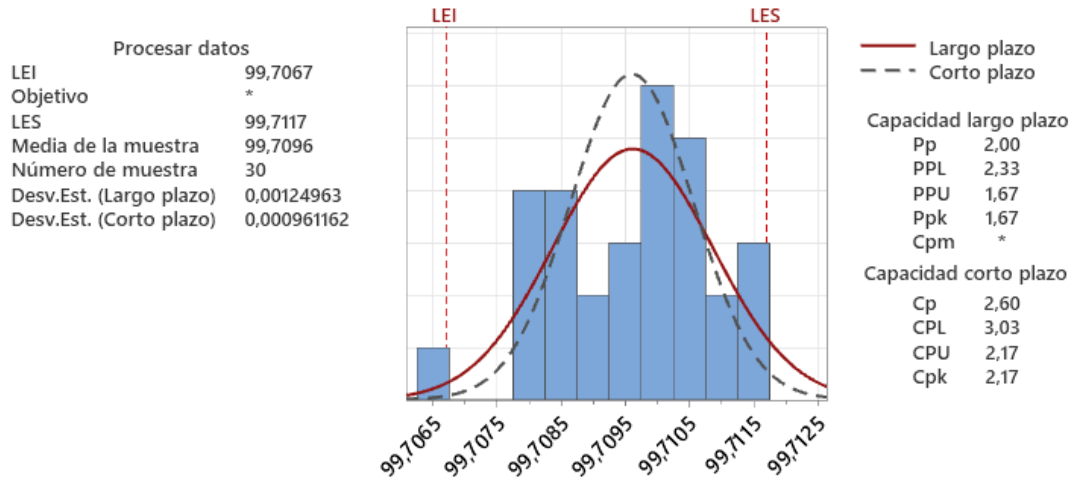


Gráfico 105-4. Gráfica de control del porcentaje de remoción de OTC durante la hora 26.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.



Gráfica 106-4. Capacidad del proceso para la concentración de OTC, durante la hora 26.
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

4.4. Ecuaciones de predicción del modelo matemático de la degradación de OTC en leche cruda.

De acuerdo a las gráficas obtenidas por cada hora de reacción entre la lacasa con OTC, se observa que existe una variación logarítmica entre las concentraciones, lo que permitió predecir las ecuaciones (tabla 1-4) para determinar la remoción de OTC en tiempos de contacto diferentes a los realizados en MATLAB y Simulink en este estudio, esto facilita el cálculo de la concentración de antibiótico en situaciones donde no se puede acceder al modelamiento realizado en MATLAB, las siguientes gráficas muestran las ecuaciones de predicción obtenidas:

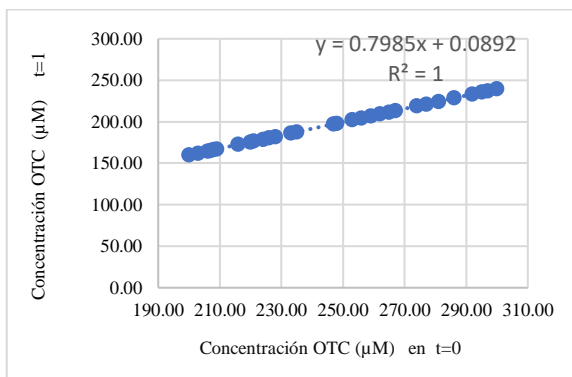


Gráfico 107-4: Ecuación de predicción para tiempo=1
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

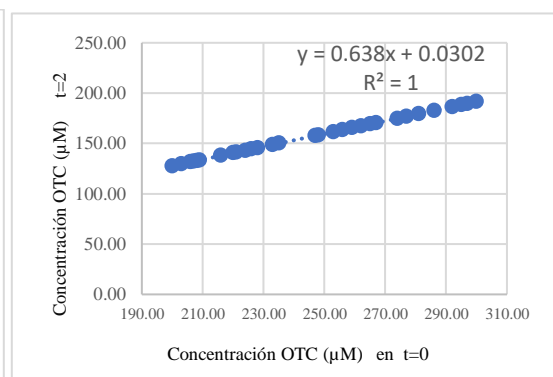


Gráfico 108-4: Ecuación de predicción para tiempo=2
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

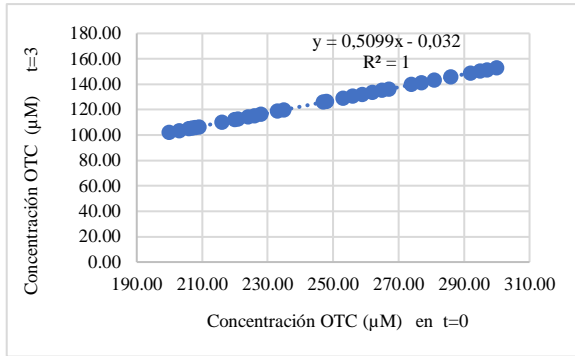


Gráfico 109-4. Ecuación de predicción para tiempo=3
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

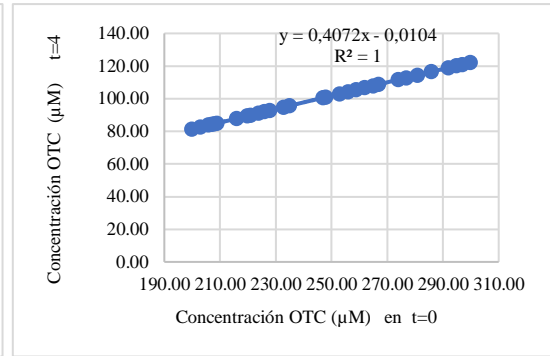


Gráfico 110-4. Ecuación de predicción para tiempo=4
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

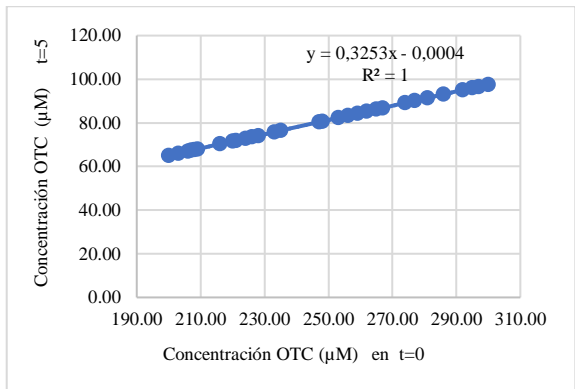


Gráfico 111-4. Ecuación de predicción para tiempo=5
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

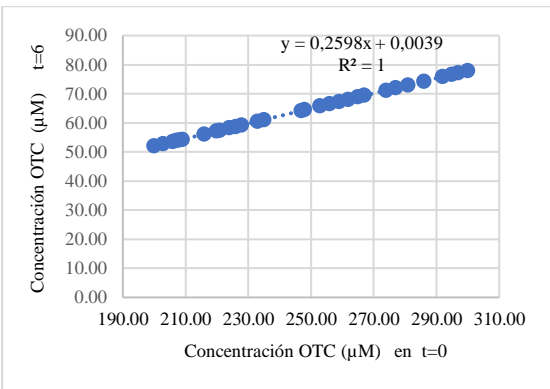


Gráfico 112-4. Ecuación de predicción para tiempo=6
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

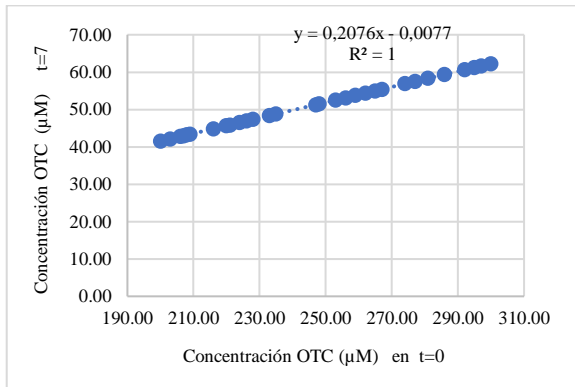


Gráfico 113-4. Ecuación de predicción para tiempo=7
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

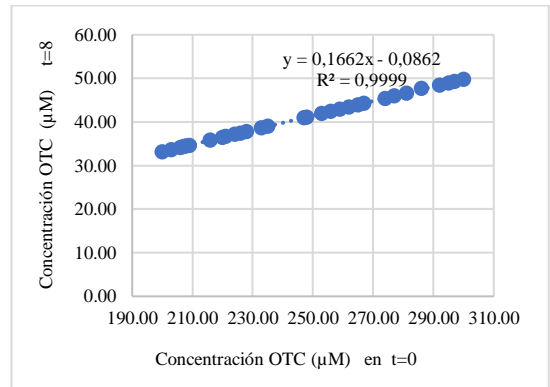


Gráfico 114-4. Ecuación de predicción para tiempo=8
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

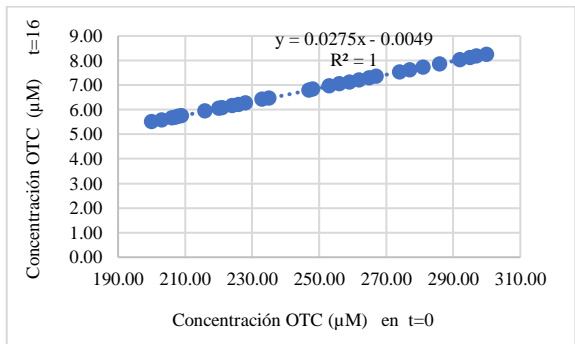


Gráfico 115-4. Ecuación de predicción para tiempo=16
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

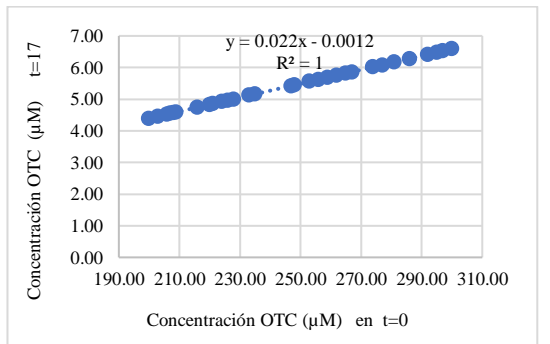


Gráfico 116-4. Ecuación de predicción para tiempo=17
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

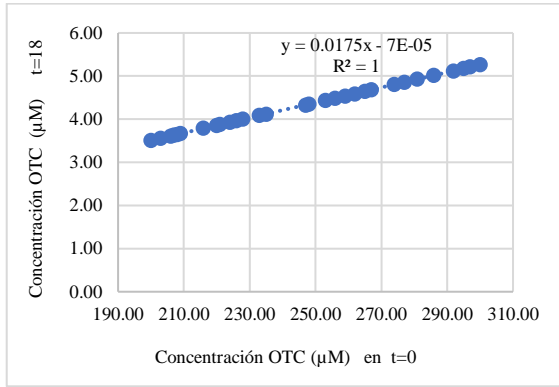


Gráfico 117-4. Ecuación de predicción para tiempo=18
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

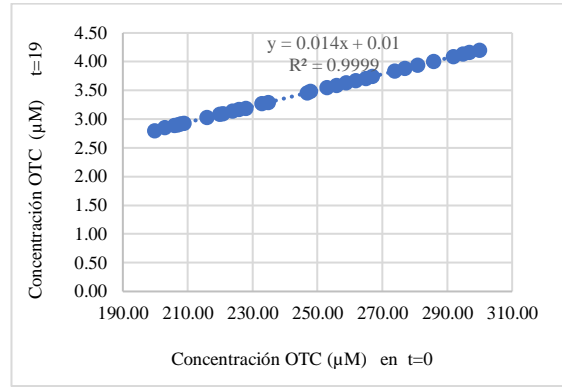


Gráfico 118-4. Ecuación de predicción para tiempo=19
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

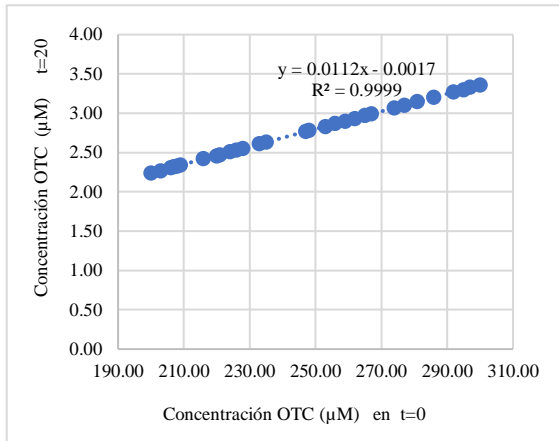


Gráfico 119-4. Ecuación de predicción para tiempo=20
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

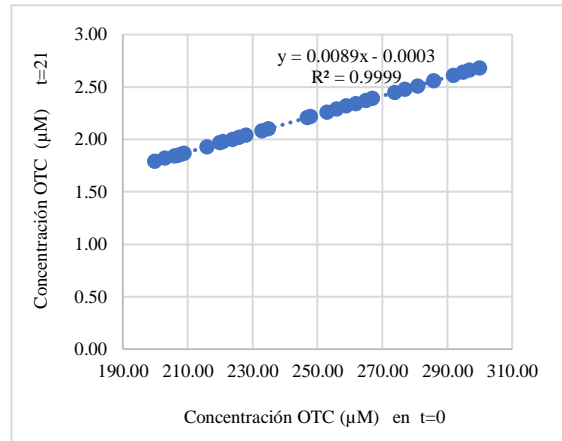


Gráfico 120-4. Ecuación de predicción para tiempo=21
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

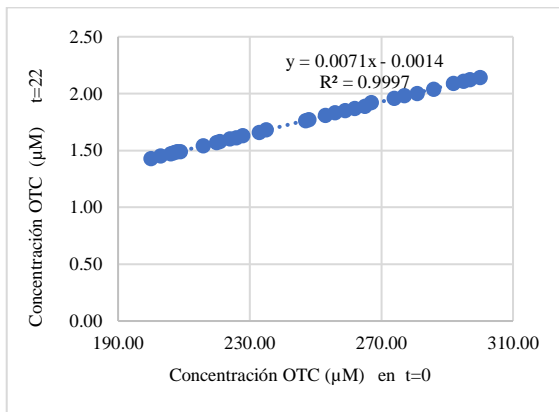


Gráfico 121-4. Ecuación de predicción para tiempo=22
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

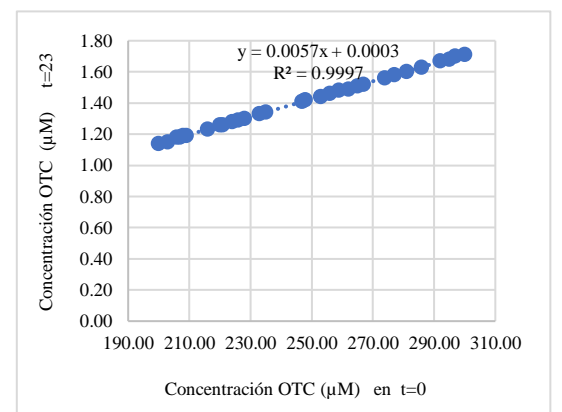


Gráfico 122-4. Ecuación de predicción para tiempo=23
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

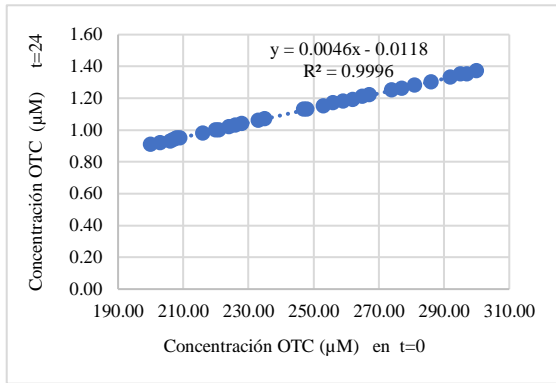


Gráfico 123-4. Ecuación de predicción para tiempo=24
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

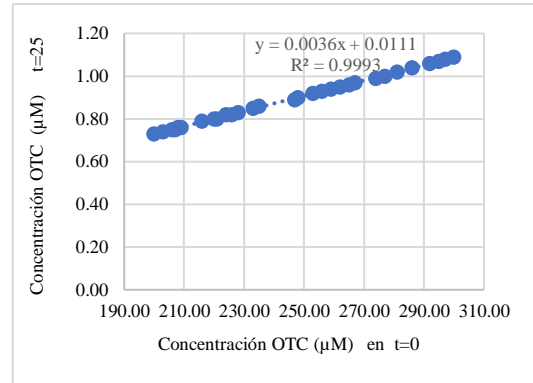


Gráfico 124-4. Ecuación de predicción para tiempo=25
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

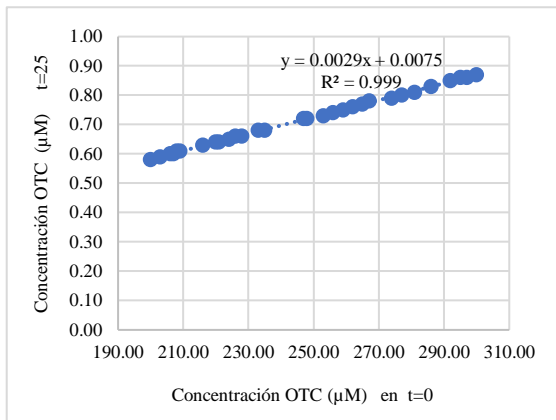


Gráfico 125-4. Ecuación de predicción para tiempo=26
Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

Las ecuaciones de predicción obtenidas a través de los datos simulados en MATLAB y Simulink para cada tiempo se muestran en la tabla 1-4:

Tabla 1-4: Ecuaciones de predicción para concentración de OTC

Tiempo	Ecuación de predicción
1	$y = 0.7985x + 0.0892$
2	$y = 0.638x + 0.0302$
3	$y = 0,5099x - 0,032$
4	$y = 0,4072x - 0,0104$
5	$y = 0,3253x - 0,0004$
6	$y = 0,2598x + 0,0039$
7	$y = 0,2076x - 0,0077$
8	$y = 0,1662x - 0,0862$
9	$y = 0,1317x + 0,1643$
10	$y = 0,1058x - 0,0007$
11	$y = 0,0845x - 0,001$
12	$y = 0,0675x + 0,0018$
13	$y = 0,0539x + 0,0011$
14	$y = 0,0539x + 0,0011$

15	$y = 0,0343x + 0,0183$
16	$y = 0,0275x - 0,0049$
17	$y = 0,022x - 0,0012$
18	$y = 0,0175x - 0,000007$
19	$y = 0,014x + 0,01$
20	$y = 0,0112x - 0,0017$
21	$y = 0,0089x - 0,0003$
22	$y = 0,0071x - 0,0014$
23	$y = 0,0046x - 0,0118$
24	$y = 0,0046x - 0,0118$
25	$y = 0,0036x + 0,0111$
26	$y = 0,0029x + 0,0075$

Realizado por: Ramos, Evelyn, 2022.

CONCLUSIONES

- La simulación realizada en el software MATLAB y Simulink, de la reacción química para el tratamiento de leche cruda contaminada con oxitetraciclina, permitió obtener el modelo matemático capaz de simular concentraciones altas de OTC, así como la dosificación adecuada de lacasa para la disminución de este antibiótico en leche cruda con concentraciones de OTC entre 200 μ M y 300 μ M, al ponerse en contacto con la enzima lacasa de concentración 0,01 μ M en función del tiempo.
- Se establecieron valores óptimos de las variables de operación para el modelamiento de la reacción química en el tratamiento de oxitetraciclina donde las variables: concentración inicial, volumen y tiempo pueden cambiar conforme a la calidad de leche que se desee tratar de acuerdo a los modelos matemáticos establecidos en este trabajo. Al ser una reacción donde no existe cambios de temperatura, el valor de la constante de Arrhenius en la reacción será de $k = 0,2246h^{-1}$, para todo el proceso. Sin embargo, en caso de realizar una simulación con cambio de temperatura, el diseño permitirá modificar el valor de la constante de Arrhenius y la simulación se llevará a cabo sin presentar errores en los datos de salida.
- Los porcentajes máximos de remoción de oxitetraciclina que se fueron simulados entre 200 μ M y 300 μ M analizados durante las 26 horas de contacto con lacasa de concentración 0,01 μ M fueron: $h_8 = 83,42\%$; $h_{16} = 97,25\%$; $h_{24} = 99,54\%$; $h_{25} = 99,64\%$; $h_{26} = 99,71\%$; lo que demostró que a mayor tiempo de contacto existe un mayor porcentaje de remoción de oxitetraciclina, hasta cuando la lacasa se consuma completamente en la reacción.
- De acuerdo a la normativa CX/MRL 2-2018 establecida en Codex Alimentarius para antibiótico en leche, indica que el límite máximo de oxitetraciclina permitido en leche es de 100 μ M y con base a los resultados obtenidos en el modelamiento matemático de esta investigación, el OTC a diferentes concentraciones se puede tratar con la lacasa para la reducción de antibiótico y garantizar su tratamiento previo antes de su eliminación, ya que en este estudio se demostró que se cumple con la normativa a partir de la quinta hora de contacto donde se obtiene una concentración de OTC en leche cruda de 80,18 μ M.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con investigaciones sobre la acción de la lacasa en oxitetraciclina a mayores concentraciones, para determinar el límite máximo de efectividad sobre el antibiótico.
- Se sugiere incrementar el tiempo de contacto entre lacasa y oxitetraciclina, ya sea en tipo experimentación o simulación para poder constatar hasta cuando tiene efectividad la enzima lacasa sobre leche cruda contaminada con antibiótico.
- Se aconseja la realización de futuros estudios sobre degradación de antibióticos en leche, tomando como consideración la manipulación de variables como el pH y temperatura; para encontrar condiciones óptimas que permitan una degradación más efectiva del antibiótico.
- El desarrollo de simulaciones de procesos dentro de la industria alimentaria, se ha convertido en una herramienta para predecir posibles soluciones a problemáticas o mejorar procesos industriales, evitando de esta manera realizar excesivos costos en investigaciones experimentales y a la vez ahorrar tiempo, por tanto, se aconseja impulsar su desarrollo dentro de la industria alimentaria.
- Socializar la información obtenida en esta investigación con productores y empresas lácteas será de gran aporte para sus procesos, a la vez podrán contribuir con más información para mejorar el modelamiento realizado.

GLOSARIO

Cinética de reacción. - Es el estudio de las velocidades de las reacciones químicas y de los factores que afectan a los mismos, además introduce la variable tiempo en el estudio de las reacciones químicas y el camino que siguen los reactivos para transformarse en productos. Las unidades de la cinética de reacción son: M/unidad de tiempo. (Izquierdo et al. 2004)

Constante de velocidad (k). - Constante de proporcionalidad de la velocidad de reacción y las concentraciones de reactivos. Su valor es característico en cada reacción y no depende de la concentración de los reactivos. Varía directamente proporcional con la temperatura(T), es decir, a mayor T, mayor k, por tanto, mayor velocidad de reacción. Las unidades de k dependen del orden total de reacción en la ley de velocidad. (Brown et al. 2004)

Lacasa. - Enzimas pertenecientes al grupo de las oxidasas de cobre azul. Catalizan la oxidación de un substrato orgánico o inorgánico y la reducción de oxígeno molecular a agua, por medio de un mecanismo de transferencia de un electrón. (Blánquez, 2015)

MATLAB (MATrix LABoratory, «laboratorio de matrices»). - Es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio, el lenguaje de cálculo técnico desarrollado por MathWorks, es un entorno de programación para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y cálculo numérico. (Ramos 2012)

Modelamiento de reacciones químicas. - Es una representación en términos matemáticos del comportamiento de una reacción química. (Ramos 2012)

OTC (Oxitetraciclina) - Es un antibiótico de amplio espectro del grupo de las tetraciclinas, y se utiliza en apicultura bajo la forma de Clorhidrato. El nombre comercial más conocido es Terramicina. Se emplea para el tratamiento de infecciones bacterianas. (Alonso, 2016)

Reacción enzimática. - Estudia la velocidad de las reacciones químicas que son catalizadas por las enzimas. se realiza siempre en las condiciones óptimas de pH, temperatura, presencia de cofactores, etc., y se utilizan concentraciones saturantes de sustrato. (Rodarte,2013)

Simulink. - Es un entorno gráfico para simulación y diseño basado en modelos de sistemas dinámicos multidominio e integrados. (Ramos 2012)

Velocidad de Reacción. – Medida de la rapidez con que se consumen los reactivos o se forma el producto. Se expresa como cambio en la concentración de reactivos (desaparición) o productos (aparición) en cierto lapso de tiempo. (Izquierdo et al. 2004)

BIBLIOGRAFÍA

- ALAHNA, T., CAPA, L. and SOTOMAYOR, J., 2016. Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las MIPYMES del Ecuador. *Revista científica de la Universidad de Cienfuegos* [en línea], vol. 8, pp. 91–93. ISSN 2218-3620. Disponible en: <http://rus.ucf.edu.cu/>.
- ANDRADE, Francisco., 2014. *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE TÉCNICAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN Y BIOFILTROS* [en línea]. Las Palmas de Gran Canaria: s.n. [Consulta: 15 August 2021]. Disponible en: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11899/4/0699295_00000_0000.pdf.
- ATARÉS, L., 2009. Problemas básicos de cinética química: ley de Arrhenius. Valencia: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL, 2013. Modelado y análisis de sistemas con Simulink.
- BERMÚDEZ, L. and CARREÑO, D., 2011. HACIA EL USO DE LA SIMULACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. *Rev. Investig. Desarro. Y Inov.*, vol. 1, no. 2, pp. 2–3. ISSN 2027-8306.
- BRITO, M., ROMERO, A., GUERRA, E., PARA, J. and ARIAS, R., 2011. Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. *Ingeniería Mecánica*, vol. 14, no. 2, pp. 129–139. ISSN 1815-5944.
- BROWN, T., LEMAY, E., BURSTEN, B. and BURDGE, J., 2004. *Química la ciencia central* [en línea]. Novena. México: s.n. Disponible en: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/contents.html>
- CARDONA, F., 2020. Los enzimas. Introducción a la enzimología. . Valencia:
- CCASO, Y., MAMANI, E., QUISPE, L. and RAMOS, A., 2015. La Cinética Química y la Industria Farmacéutica. . Juliaca:
- CODEX ALIMENTARIUS, 2018. LÍMITES MÁXIMOS DE RESIDUOS (LMR) Y RECOMENDACIONES SOBRE LA GESTIÓN DE RIESGOS (RGR) PARA RESIDUOS DE MEDICAMENTOS VETERINARIOS. [en línea]. [Consulta: 15 August 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXM%2B2%252FMRL2s.pdf>.
- ERAZO, D., 2018. Ventajas y desventajas de la simulación. Quito
- HUIDOBRO, N. and AGUILAR, D., 2017. Introducción a la simulación. *Blog personal*.
- IZQUIERDO, J., CUNILL, F., TEJERO, J., IBORRA, M. and FITÉ, C., 2004. Metodología: Cinética de las reacciones químicas. En: J. IZQUIERDO (ed.), *Cinética de reacciones químicas*. Primera. Barcelona: Edicions Universitat de Barcelona, pp. 8–16.
- LODEIRO, A., 2015. Catálisis enzimática Fundamentos químicos de la vida. . La Plata:
- MÁTTAR, S., CALDERÓN, A., SOTELO, D., SIERRA, M. and TORDECILLA, G., 2009. Detección de Antibióticos en Leches: Un Problema de Salud Pública Detecting

antibiotics in milk: a public health problem. *Agudelo-Immigración y salud Rev. salud pública*. S.l.:

MERA A, R., MUÑOZ E, M., ARTIEDA R. J. and ORTÍZ T. P., 2017. Mastitis bovina y su repercusión en la calidad de la leche. *REDVET. Revista electrónica de veterinaria*, vol. 18, no. 11, pp. 1–16.

NIETO, D., BERISSO, R., DEMARCHI, O. and SCALA, E., 2012. Manual de Buenas Prácticas de Ganadería Bovina para la Agricultura Familiar aecid MINISTERIO DE ASUNTOS EXTERIORES Y DE COOPERACIÓN. [en línea]. Disponible en: www.fao.org.

PARQUE CIENTÍFICO DE MADRID, 2010. Cinética Enzimática. [en línea]. [Consulta: 15 August 2021]. Disponible en: <https://webs.ucm.es/info/btg/personales/jvsgago/fundaments%20de%20biocatalis%20%5bModo%20de%20compatibilidad%5d.pdf>.

PATIÑO, K. v., ARROYAVE, S.M. and MARÍN, J.M., 2012. Oxidación electroquímica y ozonización aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel. *Informacion Tecnologica*, vol. 23, no. 2, pp. 41–52. ISSN 07168756. DOI 10.4067/S0718-07642012000200006.

PAZ, J., 2020. *DEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE OXITETRACICLINA EN LECHE A TRAVÉS DE PRE-TRATAMIENTOS Y USO DE LACASAS, PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO Y AGUA* [en línea]. Riobamba: s.n. [Consulta: 11 August 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14097/1/20T01335.pdf>.

PEIRANO, S., 2014. Cinética Química. [en línea]. La Plata: [Consulta: 15 August 2021]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/37670/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RAMOS, S., 2012. *Aplicación del programa MATLAB en la resolución de ecuaciones diferenciales aplicado a la materia de cálculo tres*. Guayaquil: s.n.

SIERRA, A., MELÉNDEZ, L., RAMÍREZ-MONROY, A. and ARROYO, M., 2014. La química verde y el desarrollo sustentable Green chemistry and sustainable development. , vol. 5, no. 9, pp. 3–4.

TORREGROSA, J., 2013. Conceptos básicos de modelado de procesos. . Valencia:

UGUÑA, M., 2010. *Estudio del comportamiento de las variables de producción más limpia en las haciendas lecheras modelos de las parroquias Tarqui y Victoria del portete del cantón Cuenca provincia del Azuay*. Cuenca: s.n.

VIVANCO, C., 2013. *Análisis de sistemas de control de primer y segundo orden usando lenguajes de programación MATLAB-SIMULINK*. Guayaquil: s.n.

ANEXOS

A. **NORMATIVA CODEX CX/MRL 2-2018: LÍMITES MÁXIMOS DE RESIDUOS (LMR) Y RECOMENDACIONES SOBRE LA GESTIÓN DE RIESGOS (RGR) PARA RESIDUOS DE MEDICAMENTOS VETERINARIOS EN LOS ALIMENTOS**

CODEX ALIMENTARIUS

NORMAS INTERNACIONALES DE LOS ALIMENTOS



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Organización
Mundial de la Salud

E-mail: codex@fao.org - www.codexalimentarius.org

**LÍMITES MÁXIMOS DE RESIDUOS (LMR) Y RECOMENDACIONES SOBRE
LA GESTIÓN DE RIESGOS (RGR) PARA RESIDUOS DE MEDICAMENTOS VETERINARIOS
EN LOS ALIMENTOS**

CX/MRL 2-2018

LISTA DE ABREVIATURAS

CAC	Comisión del Codex Alimentarius
CCPR	Comité del Codex sobre Residuos de Plaguicidas
CCRVDVDF	Comité del Codex Committee sobre Residuos de Medicamentos Veterinarios en los Alimentos
DR	dosis de referencia
DRA	dosis de referencia aguda
GEADE	estimación global de exposición alimentaria aguda
GECDE	estimación global de exposición alimentaria crónica
IDA	ingesta diaria admisible
IDAm	ingesta diaria admisible microbiológica
IDE	ingesta diaria estimada
IDMT	ingesta diaria maxima teórica
JECFA	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios
JMPR	Reunión Conjunta FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas
LC	límite de cuantificación
LCDR	límite de confianza para la dosis de referencia
LMR	límite máximo de residuos
LOAEL	nivel más bajo de efecto adverso observado
NOAEL	nivel sin efecto adverso observado
pc	peso corporal
RGR	recomendación sobre la gestión de riesgos

CLORTETRACICLINA / OXITETRACICLINA / TETRACICLINA (agentes antimicrobianos)				
Evaluación del JECFA: 45 (1995); 47 (1996); 50 (1998); 58 (2002)				
Ingesta diaria admisible: 0-30 µg/kg de peso corporal (JECFA50). Una IDA de grupo para clortetraciclina, oxitetraciclina y tetraciclina				
Definición del residuo: Compuesto originario, solo o combinado				
Especie	Tejido	LMR (µg/kg)	CAC	Notas
Vacuno / Vaca	Músculo	200	26 (2003)	
Vacuno / Vaca	Hígado	600	26 (2003)	
Vacuno / Vaca	Riñón	1 200	26 (2003)	
Vacuno / Vaca	Leche (µg/l)	100	26 (2003)	
Pescado	Músculo	200	26 (2003)	Se aplica solo a oxitetraciclina.
Langostino gigante (<i>Penaeus monodon</i>)	Músculo	200	26 (2003)	Se aplica solo a oxitetraciclina.
Cerdo	Músculo	200	26 (2003)	
Cerdo	Hígado	600	26 (2003)	
Cerdo	Riñón	1 200	26 (2003)	
Aves de corral	Músculo	200	26 (2003)	
Aves de corral	Hígado	600	26 (2003)	
Aves de corral	Riñón	1 200	26 (2003)	
Aves de corral	Huevos	400	26 (2003)	
Oveja	Músculo	200	26 (2003)	
Oveja	Hígado	600	26 (2003)	
Oveja	Riñón	1 200	26 (2003)	
Oveja	Leche (µg/l)	100	26 (2003)	



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 03 / 08 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Evelyn Valeria Ramos Sandoval</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Instituto de Posgrado y Educación Continua
Título a optar: <i>Magíster en Agroindustria mención Gestión de la calidad y Seguridad Alimentaria</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



Firmado electrónicamente por:

**LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**



0086-DBRA-UPT-IPEC-2022