



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADORAS Y SU
IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA SUAVE EN EL ÁREA DE LAVADO
DE ENVASES EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS**

Miriam Carolina Juárez Méndez

Asesorado por Ing. Víctor Abel Salazar Porras

Coasesorado por Ing. Andrés David Chicol Rivera

Guatemala, julio 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADORAS Y SU
IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA SUAVE EN EL ÁREA DE LAVADO
DE ENVASES EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIRIAM CAROLINA JUÁREZ MÉNDEZ
ASESORADO POR EL ING. VÍCTOR ABEL SALAZAR PORRAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADORAS Y SU
IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA SUAVE EN EL ÁREA DE LAVADO
DE ENVASES EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre de 2011.



Miriam Carolina Juárez Méndez



Embotelladora Central, S.A.

26 Calle 6-02, zona 11- Apartado 161
Guatemala, Guatemala, C.A.

01011-Guatemala, C.A.
PBX: (502) 24453700
FAX (502) 24420974

Guatemala, Enero de 2011

Ingeniero
William Álvarez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Asunto: aprobación del Informe Final de Trabajo de Graduación.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Reciba un cordial saludo, el motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que apruebo el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado: "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADORAS Y SU IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA SUAVE EN EL ÁREA DE LAVADO DE ENVASES EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS" elaborado por la estudiante Miriam Carolina Juárez Méndez, quien se identifica con carnet No. 2006-14754, quien fue apoyada por el Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia.

En tal sentido, agradezco su atención a la presente.

Sin otro particular, me despido de usted.

Atentamente

Ing. Víctor Abel Salazar
Superintendente de Producción
EMBOCEN, S.A.

Víctor Abel Salazar Portar
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 3651



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 27 de febrero de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.007.2012

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-004-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Miriam Carolina Juárez Méndez.**

Identificada con número de carné: **2006-14754**

Previo a optar al título de INGENIERA QUÍMICA.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADORAS Y SU IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA SUAVE EN EL ÁREA DE LAVADO DE ENVASES EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero: **Víctor Salazar.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación


ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012


ACAAI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.085.2012

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MIRIAM CAROLINA JUÁREZ MÉNDEZ** titulado: **"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADORAS Y SU IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA SUAVE EN EL ÁREA DE LAVADO DE ENVASES EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, Junio de 2012



Cc: Archivo
WGAM/ale



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.301.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUA DE LAVADORAS Y SU IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE CONSUMO DE AGUA SUAVE EN EL ÁREA DE LAVADO DE ENVASES EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS,,** presentado por la estudiante universitaria: **Miriam Carolina Juárez Méndez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, julio de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la Virgen María

Por ser mi guía en todo momento.

Mis padres

Mirian Elizabeth Méndez García y Julio Armando Juárez Rodríguez porque gracias a su ejemplo, apoyo y amor he alcanzado esta meta.

Mis hermanos

Ana Elizabeth y Luis Rodolfo Juárez Méndez por el apoyo y el amor incondicional.

Mis abuelitos

Liduvina García, Luis Méndez, Carmen Rodríguez y Oscar Juárez por ser mis segundos padres.

Mis tíos y primos

Por brindarme su cariño e incentivarme siempre a ser mejor cada día, en especial a Iliá Hernández y Liduvina Méndez.

Mis sobrinos y cuñado

Paulo, María José y Rony Alvarez por su apoyo y cariño.

Todas las personas

Que han formado parte de mi vida en el momento preciso.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis amigos

Que siempre han estado apoyándome en todo momento. Andrea Fong, Josue Alvarado, Karen Hurtarte, Lucia Montufar, Mario Linares, Carlos Dávila, Joselito Aldana, Esvin Rivas, Denise Galindo, Francisco Ronquillo, Eduardo Quetzales, Lourdes Jurado, Rita Abiche, Denniss Edlin, Edgar Rosas, Jennifer Gálvez, Carlos Kestler, Estuardo Cancinos, Eric Ruíz, Eddy Mayen y a todos con quien comparti y ayudaron en mi formación académica.

Mis padres y abuelitos

Por que sin ellos no sería lo que soy en este momento.

Por su apoyo incondicional

Ilia Hernández y Ana Juárez.

Mi asesor y coasesor

Ing. Víctor Salazar e Ing. Andrés Chicol.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos necesarios para ser una profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XIX
GLOSARIO	XXI
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Agua	3
2.1.1. Recurso hídrico en Guatemala	3
2.1.1.1. Usos del agua	4
2.1.2. Agua en la industria de bebidas gaseosas.....	6
2.1.2.1. Tipos de agua.....	7
2.1.2.2. Parámetros químicos importantes en la caracterización de agua suave.....	10
2.1.2.3. Tratamiento de agua residual.....	12
2.1.3. Balance hídrico	16
2.1.3.1. Balance de materia	16
2.1.3.2. Flujo de fluidos	17
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1. Definición operacional de las variables	19
3.1.1. Variables independientes y dependientes.....	20

3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	21
3.2.1.	Tipo de estudio	21
3.2.2.	Diseño general	22
3.2.3.	Universo de estudio	25
3.2.4.	Selección y tamaño de muestra	25
3.2.4.1.	Balance de masa	25
3.2.4.2.	Evaluación de los parámetros físico-químicos del sistema de recuperación de agua de lavadoras	25
3.2.5.	Unidad de análisis y observación	26
3.3.	Recursos humanos disponibles	26
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	27
3.4.1.	Equipo	27
3.4.2.	Instrumentos de laboratorio	27
3.4.3.	Reactivos.....	28
3.5.	Técnica cuantitativa y cualitativa	28
3.5.1.	Técnica cuantitativa	28
3.5.2.	Técnica cualitativa	29
3.5.3.	Monitoreo.....	31
3.5.3.1.	Agua suave	31
3.5.3.2.	Lavadora	32
3.5.3.3.	Sistema de recuperación de agua de lavadoras	33
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	35
3.6.1.	Procedimientos para la recolección de información	35
3.6.2.	Diseño de investigación.....	36
3.6.2.1.	Balance de masa	36

3.6.2.2.	Evaluación de los parámetros físico-químicos del sistema de recuperación de agua de lavadoras.....	37
3.6.3.	Métodos para el control de los datos	38
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información	38
3.7.1.	Medición de consumo de agua suave en sistema de lavadora	38
3.7.2.	Indicador de consumo de agua.....	39
3.7.3.	Flujos de descargas y ramales no contabilizados.....	40
3.7.4.	Proporción de agua recuperada/agua suave en la entrada de chorros de lavadora	41
3.7.5.	Balances de masa	43
3.7.6.	Medición de pH.....	44
3.7.7.	Medición TDS	44
3.7.8.	Medición cloro libre	45
3.7.9.	Medición de concentración de soda.....	46
3.7.10.	Medición de temperatura	47
3.7.11.	Tabulación de datos.....	48
3.7.11.1.	Balance de materia	48
3.7.11.2.	Evaluación de los parámetros físico-químicos del sistema de recuperación de agua.....	49
3.8.	Análisis estadístico	49
4.	RESULTADOS.....	53
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	153
5.1.	Consumo de agua suave en el área de lavado de envases	153

5.2.	Consumo de agua estándar para lavado de envases y porcentaje a recuperar	154
5.3.	Indicador de consumo de agua	155
5.4.	Parámetros que caracterizan el agua de lavadora	156
5.5.	Sistema de recuperación de agua de lavadoras	156
CONCLUSIONES		169
RECOMENDACIONES		171
BIBLIOGRAFÍA.....		171
APÉNDICE		177
ANEXOS.....		204

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución porcentual del agua total consumida.....	5
2.	Instalación de filtros de arena y carbón del SRA.L.....	14
3.	Sistema a balacear consumo de agua suave	17
4.	Diagrama de flujo del diseño general	23
5.	Diagrama de flujo de la metodología a implementar	24
6.	Diagrama de técnica cuantitativa	29
7.	Diagrama de técnica cualitativa.....	30
8.	Ubicación de contador en línea de tubería para agua suave.....	31
9.	Ubicación de contadores en línea de tubería	32
10.	Ubicación de contadores en línea de tubería.....	33
11.	Flujómetro ultrasónico.....	41
12.	Sistema de recuperación de agua	43
13.	Gráfico del balance de masa en el área de lavadoras.....	53
14.	Gráfico de control de la concentración de agente acomplejante en tanque de lavadora	57
15.	Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de ahorros de enjuague en lavadora	58
16.	Histograma del pH del agua recuperada en entrada de ahorros de enjuague en lavadora.....	59
17.	Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	60
18.	Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora,.....	61

19.	Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora	61
20.	Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora	62
21.	Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	63
22.	Histograma de TDS del agua en tanque de captación	64
23.	Gráfico de control de concentración de soda en tanque de captación.....	64
24.	Histograma de concentración de soda en el tanque de captación.....	65
25.	Gráfico de control del pH en el tanque de captación	66
26.	Histograma del pH en el tanque de captación	67
27.	Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación.....	67
28.	Histograma de la temperatura en el tanque de captación.....	68
29.	Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	69
30.	Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento	70
31.	Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento	70
32.	Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento	71
33.	Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento	72
34.	Histograma del pH en el tanque de almacenamiento	73
35.	Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento	73
36.	Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento	74
37.	Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	75

38.	Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	76
39.	Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	77
40.	Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento	77
41.	Gráfico de control de la concentración de agente acomplejante en tanque de lavadora.....	78
42.	Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	79
43.	Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora	80
44.	Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora	81
45.	Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora	82
46.	Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora	82
47.	Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora	83
48.	Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación	84
49.	Histograma de TDS del agua en tanque de captación	85
50.	Gráfico de control de concentración de soda en tanque de captación	85
51.	Histograma de concentración de soda en el tanque de captación...	86
52.	Gráfico de control del pH en el tanque de captación.....	87
53.	Histograma del pH en el tanque de captación	88
54.	Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación.....	88
55.	Histograma de la temperatura en el tanque de captación.....	89
56.	Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	90

57.	Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento	91
58.	Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento.....	91
59.	Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento	92
60.	Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	93
61.	Histograma del pH en el tanque de almacenamiento	94
62.	Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	94
63.	Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento	95
64.	Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento..	96
65.	Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento	97
66.	Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	97
67.	Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	98
68.	Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	99
69.	Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	100
70.	Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	100
71.	Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	101
72.	Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	102
73.	Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	103
74.	Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	103

75.	Histograma de TDS del agua en tanque de captación.....	104
76.	Gráfico de control de concentración de soda en tanque de captación	105
77.	Histograma de concentración de soda en el tanque de captación...	106
78.	Gráfico de control del pH en el tanque de captación.....	106
79.	Histograma del pH en el tanque de captación.....	107
80.	Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación.....	108
81.	Histograma de la temperatura en el tanque de captación	109
82.	Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	109
83.	Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento	110
84.	Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento	111
85.	Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento	112
86.	Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	112
87.	Histograma del pH en el tanque de almacenamiento.....	113
88.	Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	114
89.	Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	115
90.	Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	115
91.	Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	116
92.	Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	117
93.	Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	118
94.	Gráfico de control de la concentración de agente acomplejante en tanque de lavadora.....	119

95.	Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	120
96.	Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	121
97.	Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	122
98.	Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	123
99.	Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	123
100.	Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	124
101.	Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	125
102.	Histograma de TDS del agua en tanque de captación.....	126
103.	Gráfico de control del pH en el tanque de captación.....	126
104.	Histograma del pH en el tanque de captación.....	127
105.	Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación.....	128
106.	Histograma de la temperatura en el tanque de captación.....	129
107.	Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	129
108.	Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	130
109.	Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento.....	131
110.	Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento.....	132
111.	Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	132
112.	Histograma del pH en el tanque de almacenamiento.....	133

113.	Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	134
114.	Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	135
115.	Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	135
116.	Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	136
117.	Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	137
118.	Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	138
119.	Gráfico de control de la concentración de agente acomplejante en tanque de lavadora.....	139
120.	Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	140
121.	Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	141
122.	Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	141
123.	Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	142
124.	Gráfico de control de sólidos totales disueltos del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	143
125.	Histograma de sólidos totales disueltos del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	144
126.	Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	144
127.	Histograma de TDS del agua en tanque de captación.....	145
128.	Gráfico de control del pH en el tanque de captación.....	146
129.	Histograma del pH en el tanque de captación.....	147
130.	Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	147

131.	Histograma del pH en el tanque de almacenamiento.....	148
132.	Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	149
133.	Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	150
134.	Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	150
135.	Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	151

TABLAS

I.	Uso actual y potencial de agua en Guatemala.....	6
II.	Características físicas del agua tratada.....	8
III.	Características químicas del agua tratada.....	8
IV.	Características químicas del agua suave.....	9
V.	Características químicas del agua residual de lavadoras.....	12
VI.	Reacción general y ejemplos de una resina catiónica.....	15
VII.	Variables involucradas en el estudio.....	19
VIII.	Variables independientes y dependientes involucradas.....	20
IX.	Parámetros a monitorear del sistema de recuperación de agua de lavadoras.....	34
X.	Diseño de observaciones para la reducción de consumo de agua en lavadoras.....	36
XI.	Diseño de muestreo para el sistema de recuperación de agua de lavadora.....	37
XII.	Balance de consumo de agua suave lavadora línea 3.....	53
XIII.	Balance de consumo de agua suave lavadora línea 1.....	54
XIV.	Consumo de agua estándar para lavado de envases.....	54

XV.	Consumo de agua estándar y oportunidad de agua a recuperar línea 3.....	55
XVI.	Consumo de agua estándar de agua a recuperar línea 1.....	55
XVII.	Indicador antes y después de la instalación del sistema de recuperación de agua.....	55
XVIII.	Parámetros que caracterizan el agua suave.....	56
XIX.	Parámetros que caracterizan el agua recuperada.....	56
XX.	Datos del gráfico de control de la concentración del agente acompanyante en tanque de lavadora.....	57
XXI.	Control estadístico de la concentración del agente acompanyante.....	58
XXII.	Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	59
XXIII.	Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora..	60
XXIV.	Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora..	62
XXV.	Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	63
XXVI.	Datos del gráfico de control de concentración de soda en el tanque de captación.....	65
XXVII.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación	66
XXVIII.	Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación.....	68
XXIX.	Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	69
XXX.	Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento.....	71

XXXI.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	72
XXXII.	Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	74
XXXIII.	Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	75
XXXIV.	Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	77
XXXV.	Datos del gráfico de control de la concentración del agente acomplejante en tanque de lavadora.....	78
XXXVI.	Control estadístico de la concentración del agente acomplejante.....	79
XXXVII.	Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	80
XXXVIII.	Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora..	81
XXXIX.	Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.	83
XL.	Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	84
XLI.	Datos del gráfico de control de concentración de soda en el tanque de captación.....	86
XLII.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación	87
XLIII.	Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación.....	89
XLIV.	Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	90

XLV.	Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento.....	92
XLVI.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	93
XLVII.	Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	95
XLVIII.	Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	96
XLIX.	Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	98
L.	Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	99
LI.	Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora...	101
LII.	Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora..	102
LIII.	Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	104
LIV.	Datos del gráfico de control de concentración de soda en el tanque de captación.....	105
LV.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación	107
LVI.	Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación.....	108
LVII.	Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento.....	110
LVIII.	Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento.....	111
LIX.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	113

LX.	Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	114
LXI.	Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	116
LXII.	Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	117
LXIII.	Datos del gráfico de control de la concentración del agente acomplejante en tanque de lavadora.....	119
LXIV.	Control estadístico de la concentración del agente acomplejante.....	120
LXV.	Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	121
LXVI.	Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora..	122
LXVII.	Datos del gráfico de control de la temperatura del agua en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	124
LXVIII.	Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación.....	125
LXIX.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación	127
LXX.	Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación.....	128
LXXI.	Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada la torre de enfriamiento.....	130
LXXII.	Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento.....	131
LXXIII.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento.....	133
LXXIV.	Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento.....	134

LXXV.	Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	136
LXXVI.	Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento.....	137
LXXVII.	Datos del gráfico de control de la concentración del agente acomplexante en tanque de lavadora.....	139
LXXVIII.	Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora.....	140
LXXIX.	Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora..	142
LXXX.	Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora..	143
LXXXI.	Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque captación.....	145
LXXXII.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación	146
LXXXIII.	Datos del gráfico de control del pH en el tanque almacenamiento.....	148
LXXXIV.	Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos el tanque de almacenamiento.....	149
LXXXV.	Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento.....	151

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C_p	Capacidad de un proceso
Q_D	Caudal de agua al drenaje
Q_{D1-D3}	Caudal de agua de descargas
Q_{AR}	Caudal de agua recuperada
Q_{SRA}	Caudal de agua a recuperar
Q_{AS}	Caudal de agua suave
Q_{NAR}	Caudal neto de agua recuperada
Q_T	Caudal del total de agua
C_{p_k}	Habilidad de un proceso
LIC	Límite inferior de control
LIE	Límite inferior de especificación
LSC	Límite superior de control
LSE	Límite superior de especificación
SRA	Sistema de recuperación de agua
TDS	Sólidos totales disueltos

GLOSARIO

Agua suave	Agua producto libre de dureza de calcio o de magnesio, mediante procesos de filtrado y de resinas para así, darle la libertad de trabajar en sistemas de enfriamiento, evitar incrustaciones y evitar deterioro de materiales en proceso.
Agua tratada o potable	Agua que ha pasado por proceso que hacen que pueda ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.
Agua residual	Aguas que se desechan después de haber servido para un fin; pueden ser domésticas, comerciales o industriales.
Carbón activado	Producto derivado de materiales carbonosos. Es un material que tiene un área excepcionalmente alta y es utilizado en la purificación del agua.
Cloro	Elemento No. 17 de la tabla periódica de los elementos. En condiciones normales de temperatura y presión es un gas verde, poderoso oxidante, dos y media veces más pesado que el aire.

Cloro libre	Aquel cloro que se encuentra en el agua que aún tiene capacidad de sanitizarla.
Cloro total	Combinación del cloro libre más las cloraminas. Las cloraminas son aquel cloro que ya actuó matando algas y bacterias y que ahora se ha tornado inefectivo.
Filtración	Técnica, proceso tecnológico u operación unitaria de separación, por el cual se hace pasar un líquido a través de un medio poroso que puede formar parte de un dispositivo denominado filtro, donde se retiene la mayor parte de los sólidos de la mezcla.
Potencial de hidrógeno pH	Se define como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno. El pH típicamente va de 0 a 14, siendo ácidas las disoluciones con pH menor a 7 y básicas las que tienen un pH mayor a 7.
Sólidos totales disueltos	Contenido combinado de todas sustancias inorgánica y orgánica contenidas en un líquido que está presente en forma molecular, ionizada o micro-granular. Es el total de residuos sólidos filtrables a través de un tamaño del tamiz de dos micrómetros o más pequeño.

RESUMEN

Se evaluó la implementación de un sistema de recuperación de agua de lavadoras y su impacto en la reducción de consumo de agua suave en una embotelladora de bebidas carbonatadas. También se calculó el consumo de agua suave en el área de lavado de envases, quedó establecido el consumo de agua estándar de agua por envase, además la oportunidad de recuperación de agua y un indicador de consumo de agua para compararlo sin el funcionamiento y con el funcionamiento del sistema de recuperación de agua y ver de esta forma su impacto en la reducción de consumo de agua. Se determinaron y analizaron los parámetros físico-químicos que caracterizan al agua de lavadoras.

El cálculo y establecimiento del índice de consumo de agua suave consistió en establecer los puntos de consumo de agua suave en el área de lavado de envase y monitorearlos diariamente para realizar con los datos obtenidos un balance de masa. En el sistema de recuperación de agua de lavadoras se determinaron los puntos de interés para realizar el muestreo de los parámetros físico-químicos como: cloro libre, turbidez, temperatura, concentración de soda, etcétera con lo que se documentó y se analizó dicha información por medio de las herramientas estadísticas del control de un proceso.

De acuerdo a la información obtenida del balance de masa y del control del proceso del sistema de recuperación de agua se concluyó que el impacto en la reducción de consumo de agua suave en lavadoras con el sistema de recuperación de agua instalado es positivo, ya que se obtuvo un indicador de

2,23 L agua/ L bebida sin el sistema y un indicador de 2,12 L agua/ L bebida con el sistema de recuperación de agua lo que representa un ahorro de 1197 m³ al mes. A pesar de haber un impacto positivo en la reducción de consumo de agua se determinó que no es posible la implementación del sistema de recuperación de agua pues no cumple con las especificaciones técnicas de temperatura y cloro libre establecidas por la marca registrada.

OBJETIVOS

General

Evaluar la implementación de un sistema de recuperación de agua de lavadoras y su impacto en la reducción de consumo de agua suave en el área de lavadoras en una embotelladora de bebidas carbonatadas.

Específicos

1. Calcular el consumo de agua suave en el área de lavado de envase por medio de un balance de masa.
2. Establecer el consumo de agua estándar para lavado de envase y el porcentaje a recuperar.
3. Establecer un indicador de consumo de agua y compararlo sin el funcionamiento y con el funcionamiento del Sistema de Recuperación de Agua.
4. Determinar los parámetros que caracterizan al agua de lavadoras antes y después del tratamiento.
5. Analizar los parámetros físico-químicos como pH, cloro libre, sólidos totales disueltos y temperatura del agua a recuperarse hacia el cumplimiento de la Norma COGUANOR 29005 y las establecidas según marca registrada.

INTRODUCCIÓN

Se desarrollaron las oportunidades de una embotelladora de bebidas carbonatadas para reducir el consumo de agua a través del sistema de lavadora y el sistema de recuperación de agua, para ayudar de esta forma a conservar y proteger las fuentes de agua fresca que tienen relación directa con dicha embotelladora.

La principal características del sistema de lavadoras, la cual es la razón de estudio de dicho sistema, es que genera en promedio un consumo de 108 m^3 de agua suave al día los cuales a su vez agregan mayor costo económico al proceso debido al tratamiento previo que se le da al agua, lo cual despierta el interés en el ámbito profesional, como ingeniero químico, de implementar los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera para establecer las oportunidades de optimización y por ende la reducción del uso de agua en un proceso industrial, contribuyendo de esta forma a prevenir la escasez de agua en un futuro.

La metodología empleada es de tipo de estudio descriptivo con un diseño cuantitativo y cualitativo no experimental. Para la implementación de dicha metodología el análisis para la reducción del consumo de agua en una embotelladora se divide en dos secciones: primera: análisis de los caudales de agua suave para establecer un indicador de resultado y el balance general correspondiente para determinar las oportunidades de mejora para la reducción del consumo de agua. Segunda: análisis fisicoquímico del sistema de recuperación de agua a instalar en dicha embotelladora para determinar el funcionamiento del mismo y evaluar la reducción del consumo de agua.

1. ANTECEDENTES

En el 2005, aparece dentro del documento técnico del Perfil Ambiental en Guatemala, preparado por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y la Universidad Rafael Landívar, se encuentra detallada la situación del recurso hídrico en Guatemala. En dicho documento se establecen los factores geofísicos, legales, sociales y económicos de dicho recurso, en cuanto al tema de conservación se conoce que “las asociaciones que agrupan al sector azucarero y cafetalero hacen esfuerzos para que sus agremiados usen en forma más eficiente el agua, reciclando y tratando aguas residuales del proceso productivo. El proyecto de “Producción Limpia” de la Cámara de Industria y Naciones Unidas promueve actualmente el uso de tecnologías limpias en los procesos industriales.”¹

Por lo anterior descrito el Centro Guatemalteco de Producción más Limpia (CGP+L) unió esfuerzos con una embotelladora de bebidas carbonatadas y con el Fondo Mundial para la Vida Salvaje (WWF por sus siglas en inglés) para conservar y proteger el recurso hídrico, mejorando la eficiencia del consumo de agua en las operaciones de manufactura de las embotelladoras. Con lo cual surge el proyecto de tesis en base a la reducción del consumo de agua.

¹ Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y la Universidad Rafael Landívar. Perfil Ambiental en Guatemala, situación del recurso hídrico en Guatemala. p. 15.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agua

El agua es una sustancia cuya molécula está constituida por dos átomos de hidrógeno (H) y un átomo de oxígeno (O). Cubre el 71% de la superficie de la tierra, distribuida de la siguiente forma: el 96,5% del agua total pertenece a los océanos, 1,74% glaciares y casquetes polares, 1,72% depósitos subterráneos (acuíferos) y el restante 0,04% se reparte en lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

En la actualidad a pesar de ser un recurso renovable se teme la escasez del agua debida a problemas de: disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua. Lo que hace tomar conciencia en cuanto a la distribución de dicho recurso natural.

2.1.1. Recurso hídrico en Guatemala

En la actualidad Guatemala cuenta con conocimientos del recurso hídrico limitados puesto que la red hidrometeorológica nacional, manejada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología y Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), ha operado irregularmente. De los datos con los que se cuentan de la oferta hídrica del país se tienen:

- ✓ Esguerrimiento superficial: 1 760 – 3 190 m³/s (55,6 y 100,6 miles de millones m³/año)

- ✓ 55% del territorio lo forman cuencas de repercusión internacional
- ✓ Los ríos más caudalosos son: Usumacinta ($1\,800\text{ m}^3/\text{s}$)
Motagua ($240\text{ m}^3/\text{s}$)
Polochic ($161\text{ m}^3/\text{s}$)
Sarstún ($172\text{ m}^3/\text{s}$)
Ixcán ($165\text{ m}^3/\text{s}$)
Suchiate ($28\text{ m}^3/\text{s}$) es el de mayor caudal.
- ✓ Agua subterráneas: 33 699 millones de $\text{m}^3/\text{año}$

2.1.1.1. Usos del agua

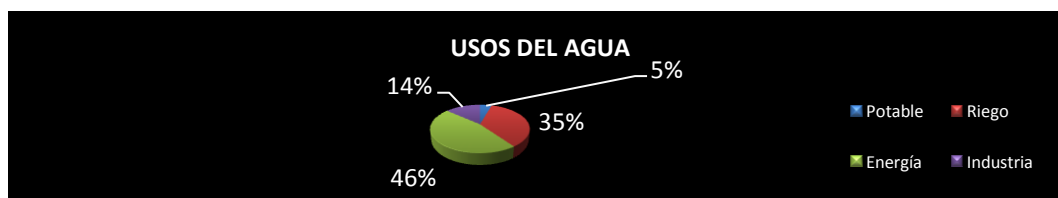
En cuanto al uso del agua no se cuenta con estadísticas actualizadas por lo que se recurre a estimaciones, pudiendo dividir el uso actual del agua en:

- ✓ Agua potable: la mayor parte del consumo de agua potable se debe a la concentración de la población, para el 2000 se estimó un consumo de 283 millones de metros cúbicos, asumiendo una dotación de 60 L/hab/día y 125 L/hab/día para la zona rural y urbana respectivamente.
- ✓ Riego: la mayor parte del consumo del agua es por inundación, aunque se han realizado progresos con los proyectos de riego por goteo y mini-riego. Se estima que en la actualidad se consumen 2200 millones de metros cúbicos anuales de riego.
- ✓ Energía: el 32% de la potencia instalada es hidroeléctrica, lo cual reporta consumos de 2 882 millones de metros cúbicos de agua anuales.
- ✓ Industria: en dicho sector no existe estadísticas confiables sobre el consumo de agua, por lo que se hace un estimado en base a la destilación, producción de productos vinícolas, cerveza, jugos y bebidas gaseosas, siendo éste último de interés para el trabajo de graduación a desarrollar.

Se estima un consumo de 425 millones de metros cúbicos, los cuales equivalen al 80% del volumen producido, pero es necesario tomar en cuenta que hay otros usos considerables de agua en la industria así como: la limpieza de equipo e instalaciones, la alimentación de calderas, y el agua utilizada para refrigeración y enfriamiento. “Una estimación del consumo de los últimos añadido al estimado por la producción podrían duplicar a 850 millones el uso total por la industria.”²

Los documentos disponibles tanto locales como internacionales muestran que el consumo de agua para la producción industrial es el 14% del consumo total. Esta cifra se muestra en el estudio del mejoramiento del recurso hídrico en Guatemala.

Figura 1. **Distribución porcentual del agua total consumida**



Fuente: IARNA y la Universidad Rafael Landivar. Perfil Ambiental en Guatemala, Situación del Recurso Hídrico en Guatemala. p. 21.

Con las estimaciones establecidas se puede obtuvo un balance hídrico del consumo de agua en el ámbito nacional, el cual se muestra a continuación:

² Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y la Universidad Rafael Landivar. Perfil Ambiental en Guatemala, situación del recurso hídrico en Guatemala. p. 19.

Tabla I. Uso actual y potencial de agua en Guatemala (millones de m³)

Uso del Agua	Uso actual	Uso potencial (Año 2025)
Oferta Hídrica Bruta o Disponibilidad Bruta (Incluye Agua Superficial y Subterránea)	84,991	84,991
Caudal Ecológico	21,248	21,248
Agua Contaminada por Descargas	33,996	33,996
Oferta Hídrica Neta o Disponibilidad Neta	29,747	29,747
Agua Potable	284	1,211
Riego	2,200	10,200
Industria	850	3,625
Energía *	2,883	15,000
Uso total	6,217	30,036
Excedente Hídrico	23,530	(289)

Fuente: IARNA y la Universidad Rafael Landívar. Perfil Ambiental en Guatemala, situación del recurso hídrico en Guatemala. p. 21.

2.1.2. Agua en la industria de bebidas gaseosas

Dentro de la industria de bebidas gaseosas se utilizan tres tipos de agua, clasificados según el tratamiento químico al que han sido sometidos para llegar a los parámetros establecidos por normas regentes de agua.

2.1.2.1. Tipos de agua

Los tipos de agua se clasifican según se muestra a continuación.

- ✓ Agua cruda: es el agua tipo de agua que proviene de los pozos municipales o naturales, la cual no ha sido sometida a ningún tratamiento químico. El agua cruda de buena calidad tiene las siguientes características:

- Turbidez baja
- Sólidos disueltos bajos
- Materia orgánica disuelta baja
- Alcalinidad baja
- Metales y niveles de microorganismos bajos
- Protegida contra fuentes externas de contaminación

Si este tipo de agua contiene materia orgánica en suspensión se puede eliminar por medio del proceso físico de filtración.

- ✓ Agua tratada: es el agua que ha pasado por un tratamiento fisicoquímico que hace que pueda ser consumida sin restricción. El tratamiento fisicoquímico depende de las propiedades del agua a tratar pero comúnmente se realiza el siguiente procedimiento:

- Extracción de pozo
- Floculación en línea
- Filtración de lecho profundo (filtro de grava y arena)
- Desinfección con cloro
- Absorción
- Filtración con carbón activado
- Filtración pulidora

La Norma COGUANOR NGO 29005:99 muestra las características con las que debe de cumplir el agua después de haber pasado por el procedimiento antes descrito. A continuación se muestran dichas características:

Tabla II. Características físicas del agua tratada

Característica	Valor máximo admisible
Sabor	No rechazable
Color	<5 unidades (1)
Turbiedad	<0.5 unidades (2)
pH	6.5-8.5
Olor	No rechazable
Sólidos disueltos	<500 mg/L

Fuente: Norma COGUANOR 29005:99 pág. 3.

Tabla III. Características químicas del agua tratada

Característica	Valor máximo admisible, en miligramos/litro
Aluminio	0.2
Antimonio	0.006
Arsénico	0.05
Bario	1.0
Berilio	0.004
Cadmio	0.005
Cianuro	0.1
Cloro	<0.1
Cloruro*	250.0
Cobre*	1.0
Cromo	0.05
Fluoruro	1.3
Hierro*	0.3
Manganeso*	0.05
Mercurio	0.001
Níquel	0.1
Nitrato	10.0
Nitrito	1.0
Total Nitrato/Nitrito	10.0
Plata	0.025

Fuente: Norma COGUANOR 29005:99 pág. 3.

- ✓ Agua suave: es el agua libre de dureza de calcio o de magnesio obtenida mediante los procesos de filtración de lecho profundo y de resinas de intercambio iónico para así darle la libertad de trabajar en lavado de envases y sistemas de enfriamiento, evitar incrustaciones y evitar deterioro de materiales en proceso.

En el estudio a realizar se tomará en cuenta únicamente el agua suave de la embotelladora pues es donde se encuentra la oportunidad de la reducción del consumo de agua y a la vez la evaluación del sistema de recuperación de agua de lavadoras.

Los parámetros del agua a utilizar se rigen por los límites de los recomendados por la casa matriz, los cuales a su vez tienen su base en los de la Organización Mundial de la Salud y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos en conformidad con las normas guatemaltecas, dentro de éstos se pueden mencionar:

Tabla IV. **Características químicas del agua suave**

Parámetro	Especificación
Cloro libre	1 - 3 ppm
Sólidos totales disueltos (TDS)	< 500ppm
pH	5,0-8,5
Turbidez	< 5 NTU
Dureza de calcio	< 100ppm como CaCO_3

Fuente: Norma COGUANOR 29005:99 pág. 3, Marca registrada Normativos.

2.1.2.2. Parámetros químicos importantes en la caracterización de agua suave

Dentro de estos parámetros se encuentra la turbidez, acidez, sólidos totales disueltos, etcétera. Los cuales se mencionan a continuación:

- ✓ Turbidez: se entiende como turbidez a la condición nublada que a veces presenta el agua, esta propiedad obedece a la dispersión de la luz causada por pequeñas partículas insolubles que se encuentran en suspensión. Puede resultar de la presencia de hierro, manganeso o de pequeñísimas partículas de arcilla, sustancias orgánicas y de microorganismos.

La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez. Para su medición es utilizado el instrumento denominado nefelómetro o turbidímetro, el cual mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

- ✓ Acidez: el agua posee acidez causada por el dióxido de carbono, ácido tánico y sales inorgánicas como sulfato ferroso, es por ello importante el controlar la acidez que posee el agua o alcalinidad de ser el caso, para la medición de la acidez del suelo se utiliza la medición de la concentración de iones de hidrogeno (pH) por medio de instrumentos como el potenciómetro o tiras de papel pH. El agua suave al igual que el agua tratada deben estar entre el intervalo de 6,5 a 8,5.

- ✓ Sólidos totales disueltos (TDS): se entiende por sólidos totales disueltos a todas las sustancias orgánicas e inorgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o micro-granular. La medición de dicho parámetro se logra por un conductímetro el cual transforma la conductividad en unidades de mg/L de sólido disuelto. El valor máximo aceptable según normativo para agua es de 500mg/L.
- ✓ Cloro libre: es aquel cloro que se encuentra en el agua que aún tiene capacidad de sanitizarla. Se desea una pequeña concentración en el agua debido a que garantiza el riesgo de contaminación bacteriana de la línea de distribución de agua.

Para la medición de dicho parámetro existen varios métodos colorimétricos, pero según normativo de La marca registrada únicamente es aceptado el método colorimétrico HACH utilizando como reactivo Dietil-p-fenilen diamina (DPD).

- ✓ Alcalinidad: se entiende por alcalinidad a la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos. La alcalinidad del agua resulta de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de calcio, sodio y magnesio. Se expresa como alcalinidad "P" (Fenolftaleína) o alcalinidad "M" (total).
- ✓ Dureza: se entiende por dureza a la presencia de calcio y magnesio en el agua. A Se puede obtener por la presencia de bicarbonato de calcio o magnesio, sulfatos y cloruros de éstos mismos metales.

La dureza total del agua es la medida de calcio y magnesio presente expresada en mg/L de carbonato de calcio.

2.1.2.3. Tratamiento de agua residual

Se denomina agua residual al agua que resulta del uso doméstico o industrial y por ende no puede ser reutilizadas directamente, para ello deben de seguir un tratamiento físico-químico dependiendo del uso que se le pretenda dar. Para el presente trabajo de graduación el agua residual a tratar proviene de las lavadoras de las líneas de producción 1 y 3 que poseen las siguientes características

Tabla V. Características químicas del agua residual de lavadoras

Parámetro del agua	Salida L1	Salida L2
pH	9,6	10,2
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	30	<1
Alcalinidad pH 4,3 (mmol/l)	10	10
Cloro	1,5	0,2
Sólidos disueltos (mg/L)	527,4	495

Fuente: marca registrada, Normativos.

Para obtener los parámetros fisicoquímicos necesarios para la reutilización de dicha agua en lavadoras se evaluara un proceso de tratamiento de agua compuesto por:

- ✓ Filtración: la filtración de agua es el proceso por el cual el agua es separada de las materias en suspensión haciéndolas pasar a través de una sustancia porosa.

En la práctica, éste material poroso es generalmente una capa de arena.

➤ Filtración por arena y grava

La filtración por arena y grava se considera como una operación terciaria del tratamiento de agua residual. Prepara al efluente de agua para que pueda ser utilizado de nuevo. Existen dos clases de filtros de arena: los de acción lenta y de acción rápida. Los que se evaluarán serán de acción rápida.

Los filtros de acción rápida de presión son cilindros de acero herméticos. Su velocidad de filtración varia de 81,5 a 122,2 L/min/m². Se limpian con una corriente de agua en sentido inverso.

Este tipo de filtración contribuye a corregir defectos como la turbidez, contaminación por bacterias, otros microorganismos y en cierto grado los olores, sabores y color.

➤ Filtración por carbón

La filtración por carbón se emplea para la eliminación de color, olor y sabor del agua a tratar, se basa bajo el principio de adsorción por medio del cual las moléculas de impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado.

Los filtros de carbón activado son utilizados también por su extraordinaria habilidad en eliminar el cloro y su gusto y olor relacionados por la reducción química para una forma no detectable por los sentidos.

Figura 2. **Instalación de filtros de arena y carbón del SRAL**



Fuente: Alvamont, fotografías documentadas al realizar la instalación.

- ✓ Intercambio iónico: las operaciones de intercambio iónico intercambian iones específicos contenidos en el agua por iones complementarios que son parte del complejo de un medio de intercambio sólido.

➤ Decationización

En la industria se utilizan resinas de intercambio iónico por cambiadores tanto aniónicos como catiónicos como es en este caso, la diferencia entre ambos radica en que los primeros intercambian aniones y los últimos intercambian cationes.

Se utilizan generalmente para el proceso de ablandamiento de agua, en el caso de estudio se utiliza para la regulación de pH del agua que ha pasado por los tratamientos de filtración. Las propiedades que debe de tener una resina de intercambio iónico son: * Contener sus propios iones * ser insolubles en agua y * proporcionar suficiente espacio en su estructura porosa para que los iones pasen libremente al interior y hacia el exterior del sólido.

La reacción general del Intercambio iónico para una resina catiónica se muestra en la tabla VI que se muestra a continuación.

Tabla VI. **Reacción general y ejemplos de una resina catiónica**

Reacción General	$N^+ + M^+R^- \rightleftharpoons M^+ + N^+R^-$
Ejemplo	<p>Ablandamiento de Agua:</p> $Ca^{++} + 2NaR \rightleftharpoons 2Na^+ + CaR$ <p>Nuestro Caso:</p> $Na^+ + HR \rightleftharpoons H^+ + NaR$

Fuente: MASKEW FAIR, Gordon. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales p. 615.

- ✓ Desinfección con cloro: se le añade al agua la dosis necesaria de cloro para destruir todos los agentes patógenos presentes en ella. En el tratamiento a estudiar se presentan dos inyecciones de cloro en línea, siendo la primera para evitar la corrosión en la torre de enfriamiento, etapa siguiente, y la segunda inyección se da en el tanque de almacenaje para que el agua esté libre de microorganismos pero sin exceder la norma de cloro libre de 1- 3 ppm.
- ✓ Enfriamiento: esta etapa ya no corresponde al tratamiento de agua residual comúnmente aplicado, pero se utiliza dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales de lavadora en la embotelladora de bebidas carbonatadas puesto que dentro de su normativo se desea que el agua de entrada de chorros de lavadora sea de 27°C como máximo.

La torre de enfriamiento, equipo utilizado, es una torre que pone en contacto la fase de aire y de agua en contracorriente y por efectos de transferencia de masa (evaporación) se da el enfriamiento del agua por encima de la temperatura de bulbo húmedo que presente el lugar, siendo para Guatemala 26°C.

2.1.3. Balance hídrico

Para la realización del balance hídrico es necesario tener los siguientes conocimientos.

2.1.3.1. Balance de materia

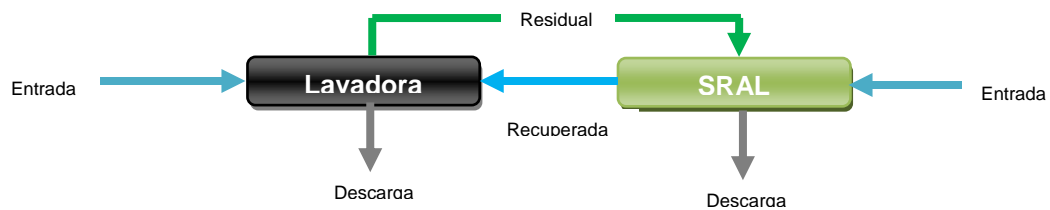
Los balances de masa son la aplicación de la ley de conservación de la masa: “La materia no se crea ni se destruye”.³ Se elaboran balances de materia para sistemas como:

- ✓ La masa total
- ✓ El total de moles
- ✓ La masa de un compuesto químico
- ✓ La masa de una especie atómica
- ✓ Los moles de un compuesto químico
- ✓ Los moles de una especie atómica
- ✓ El volumen (posiblemente)

³ HIMMELBLAU, David. Principios básicos y cálculos en ingeniería química. p. 143, 144 y 146.

En cuanto se habla de volumen se dice que posiblemente puesto que cuando se realizan mezclas de dos sustancias como agua etanol no se tiene un volumen aditivo, pero para nuestro caso de estudio no se realizará ningún tipo de mezcla por lo que es posible aplicar la ecuación de balance general de materia: $\text{Acumulación} = (\text{entrada} - \text{salida}) + (\text{generación} - \text{consumo})$

Figura 3. **Sistema a balancear consumo de agua suave**



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.2. Flujo de fluidos

Fluido es toda sustancia que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta. El fluido a contabilizar y a analizar es agua suave.

Se sabe que el caudal es la relación que tiene la velocidad de fluido respecto al área que esta atraviesa

$$Q= V \cdot A$$

Donde:

Q= Caudal (m^3 / s)

V= Velocidad de flujo (m/s)

A= Área (m^2)

Para la medición de los caudales correspondientes al balance se debe de tomar en cuenta el punto de muestreo y tener el conocimiento sobre la influencia de los complementos y equipos dentro de la distribución de red y el medidor de flujo a utilizar.

- ✓ Medidor de flujo: el medidor de flujo a utilizar es un flujómetro ultrasónico en el cual la velocidad del caudal se mide por medio de ultrasonidos. El equipo a utilizar utiliza para la medición el método Doppler.

Un flujómetro de efecto Doppler utiliza el efecto de éste para medir caudales. Este fenómeno físico es el efecto que se produce cuando un frente de ondas se refleja en un objeto en movimiento. El efecto Doppler es un incremento (o una disminución) de la frecuencia de las ondas sonoras a medida que la distancia entre una fuente sonora y un receptor aumenta o disminuye.

Es por ello que es importante establecer el tipo de fluido a medir y la posición con respecto a la red de distribución para que no exista ningún tipo de interferencias en cuanto a la medición del mismo.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Definición operacional de las variables

Las variables involucradas en el estudio y como se definen según el diseño se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Variables involucradas en el estudio**

Variables	Unidad	Factor Potencial de Diseño	
		Constantes	Variables
Agua suave que entra a lavadora	m ³ / día		X
Agua residuales de lavadora.	m ³ / día		X
Agua recuperada	m ³ / día		X
Agua residuales de sistema de recuperación de agua	m ³ / retrolavado m ³ / día		X
Proporción de mezcla de agua para consumo de lavadora	%	X	
Concentración de cloro libre	Ppm		X
pH	pH		X
Concentración de soda	%peso	X	
TDS	Ppm		X
Temperatura	°C	X	
Recursos económicos y humanos	Económica	X	

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Variables independientes y dependientes

Dentro de las variables dependientes se hace mención de aquellas en las cuales se observaron durante el proceso:

Tabla VIII. Variables independientes y dependientes involucradas

No.	Variables	Unidad	Descripción
Variables Independientes			
1	Caudal de agua suave que entra a lavadora	m ³ / día	Caudal utilizado para lavado de envase.
2	Caudal de agua recuperada que entra a lavadora.	m ³ / día	Caudal utilizado para Pre-enjuague de lavadora y descargas netas.
3	Caudal de agua residuales de sistema de recuperación de agua	m ³ / retrolavado m ³ / día	Caudal necesario para retrolavados de sistema de tratamiento de agua y caudal de tanques de captación de lavadora 1 y 3.
4	Proporción de mezcla de agua para consumo de lavadora	%	Porcentaje de agua de recuperación capaz de ser ingresada al sistema de lavadoras.
Variables Dependientes			
5	Caudal de agua residual de lavadora	m ³ / día	Caudal agua residual a recuperar de lavadora y caudal de desecho lavadora.
6	Concentración de cloro libre	ppm	Determinación de Cloro libre por métodos colorimétricos.
7	pH	pH	Determinación de pH
8	Concentración de soda	%peso	Determinación de soda caustica necesaria en agua de pre-enjuague y salida de enjuague final.
9	TDS	ppm	Determinación de la cantidad de sólidos disueltos en el agua recuperada.
10	Temperatura	°C	Temperatura del agua recuperada que entra a la lavadora.
11	Composición de agua para consumo de lavadora	según aditivo	Depende de los aditivos utilizados en lavado la composición del agua.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- ✓ Área: operaciones unitarias.
- ✓ Proceso: lavado de envases / tratamiento de agua residual.
- ✓ Etapa del proceso: segunda etapa del proceso de lavado / tratamiento completo.
- ✓ Ubicación: el estudio se realizó en una embotelladora de bebidas carbonatadas ubicada en Guatemala.
- ✓ Clima: la ciudad de Guatemala se encuentra con 68% de humedad relativa y aproximadamente 22°C

3.2.1. Tipo de estudio

El tipo de estudio que se aplicó en el presente trabajo de graduación es el descriptivo, ya que se analizó como es y cómo se manifiesta el fenómeno y sus componentes, siendo en este caso el fenómeno la evaluación del sistema de recuperación de agua y su impacto en la reducción del consumo de agua de lavadoras para su reutilización en el sistema, siendo esto determinado por el planteamiento de un indicador.

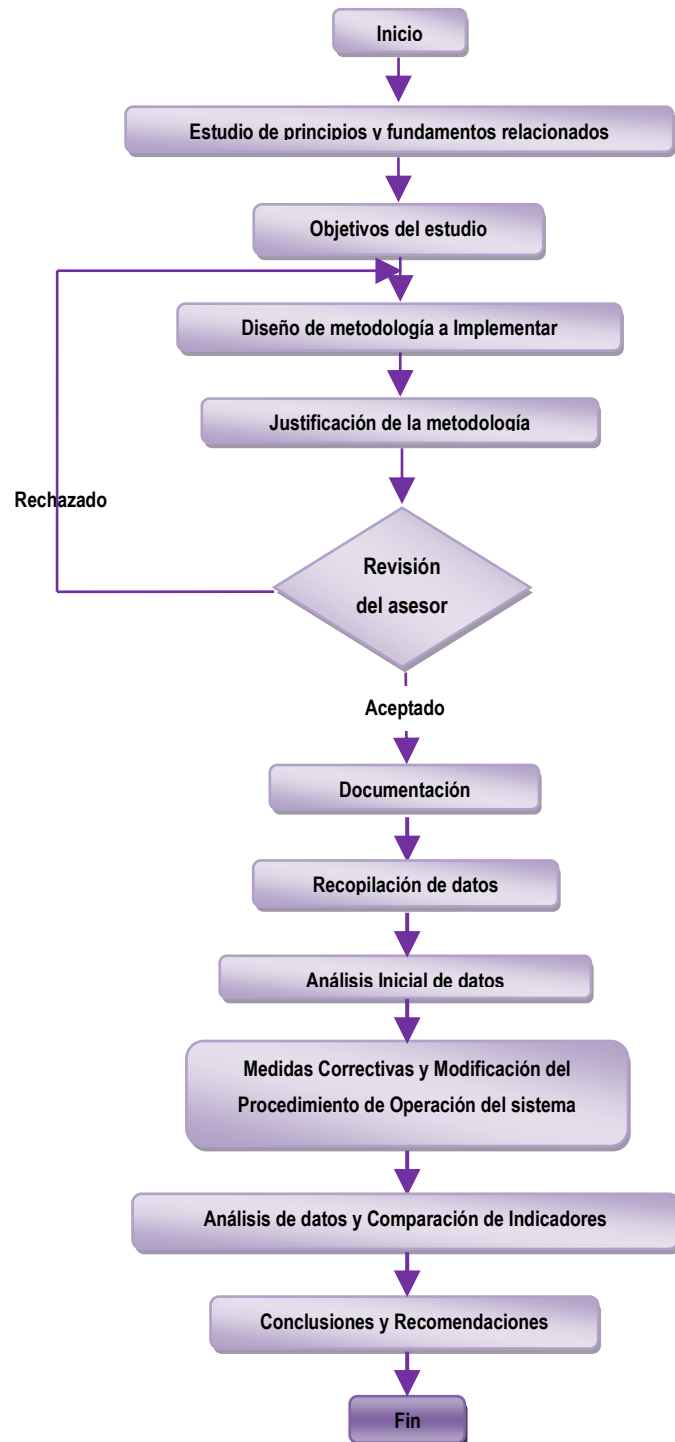
Su alcance es la predicción e identificación de las relaciones que existen entre las variables del sistema de recuperación de agua y la reducción óptima del consumo de agua cumpliendo parámetros establecidos por la marca registrada. Se recopilaron los datos y analizaron minuciosamente los resultados, a fin de obtener generalizaciones significativas que contribuyen al conocimiento de las posibles mejoras de los sistemas.

3.2.2. Diseño general

El tipo de diseño aplicado en el presente trabajo de graduación es cuantitativo y cualitativo no experimental con un tipo de investigación transeccional. Se utilizó el diseño no experimental ya que el propósito del mismo se basa en variables que se dan en la realidad sin la intervención directa del investigador, dando un enfoque retrospectivo del trabajo por medio del tipo de investigación transeccional.

El diseño elegido corresponde con el enfoque cuantitativo pues se procesaron los datos recopilados a través de aplicaciones matemáticas, entre otras disciplinas para la determinación de las oportunidades de reducción del consumo de agua en una embotelladora, por medio de la aplicación de este tipo de diseño se evaluó el procedimiento de lavadoras y se determinó su capacidad, para la reducción de consumo de agua y reutilización del agua a través del sistema de recuperación. En la figura 4 se presenta el diagrama simplificado del diseño a utilizar.

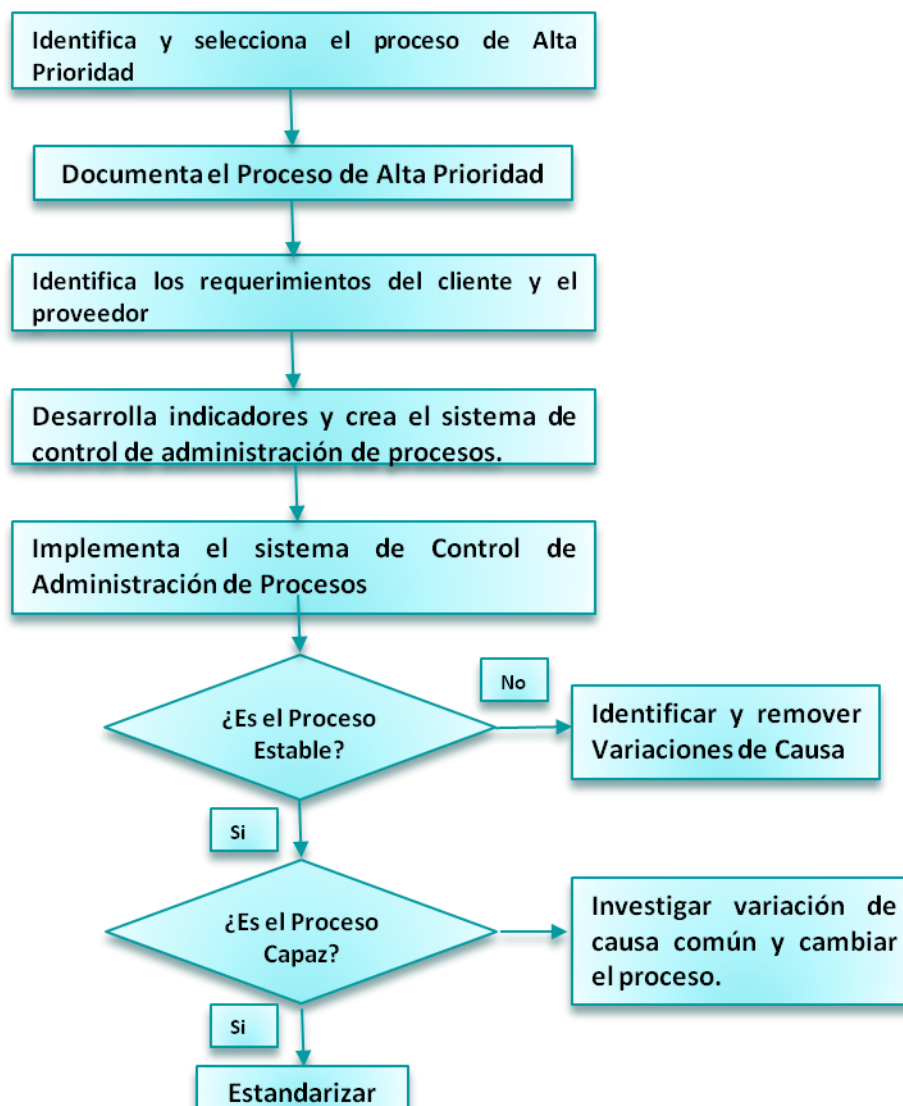
Figura 4. Diagrama de flujo del diseño general



Fuente: elaboración propia.

En el presente trabajo de graduación se acopló la metodología que se muestra en la figura 5 para establecer la evaluación del sistema de recuperación y sus oportunidades de reducción de consumo de agua.

Figura 5. **Diagrama de flujo de la metodología a implementar**



Fuente: HOLPP, Larry. Dirigiendo Six Sigama / Lean en KO Programa de entrenamiento, p.16.

3.2.3. Universo de estudio

El estudio se realizó en el sistema de lavadoras y de recuperación de agua, de una embotelladora de bebidas gaseosas, tomando en cuenta el tipo de agua suavizada que es el efluente de interés según selección por medio de la metodología antes descrita y el área de oportunidad de dicho sistema.

3.2.4. Selección y tamaño de muestra

La selección de tamaño de muestras utilizadas se dividió en dos secciones, para el balance de masa y para la evaluación físico-química del sistema.

3.2.4.1. Balance de masa

El presente estudio requirió, para establecer las oportunidades de reducción de consumo de agua, la observación durante 5 meses el consumo de lavadoras evaluando el consumo de agua suave sin el sistema de recuperación y con el sistema de recuperación. Dicho tiempo de monitoreo se acordó con el Centro Guatemalteco de Producción más Limpia y la embotelladora de bebidas carbonatadas en cuál se realizó la evaluación del sistema de recuperación de agua y su impacto en el consumo de agua suave.

3.2.4.2. Evaluación de los parámetros físico-químicos del sistema de recuperación de agua de lavadora

Las muestras se seleccionaron en base a la teoría estadística, la cual establece que al poseer una población grande para que la muestra sea representativa debe de ser no menor de 30 mediciones para obtener resultados confiables de los parámetros a evaluar del sistema de recuperación de agua.

El tamaño de las muestras utilizadas fue de 30 mediciones aleatorias de los respectivos parámetros físico-químicos involucrados en el proceso de recuperación de agua de lavadoras, puesto que dentro de la metodología antes mencionada se considera una muestra significativa para los alcances de la misma.

3.2.5. Unidad de análisis y observación

La unidad de análisis es el caudal en (m^3) que logra reducirse del consumo de agua suavizada en un tiempo determinado. Se observaron los parámetros con los que debe cumplir el agua en las lavadoras y en el sistema de recuperación para su óptimo funcionamiento.

3.3. Recursos humanos disponibles

- ✓ Investigadora: Miriam Carolina Juárez Méndez.
- ✓ Asesor: Ing. Víctor Abel Salazar Porras
- ✓ Coasesor: Ing. Andrés David Chicol Rivera
- ✓ Colaboradores: técnico de CGP+L: Walter Bonilla
técnico Quisertec y Ecolab: Edgar Rosales y
Josue Ramos

3.4. Recursos materiales disponibles

Se contó con equipo, instrumentos de laboratorio y reactivos para el monitoreo diario y la toma de muestras del presente trabajo.

3.4.1. Equipo

- ✓ Caudalímetro mecánico de molino
- ✓ Flujómetro ultrasónico
- ✓ Lavadora de envases
- ✓ Filtro de lecho profundo tipo
- ✓ Filtro de carbón
- ✓ Filtro de intercambio iónico
- ✓ Torre de enfriamiento
- ✓ Filtro pulidor

3.4.2. Instrumentos de laboratorio

- ✓ Termómetro de mercurio
- ✓ Termómetro laser: marca OAKTON 35625-40
- ✓ Potenciómetro y conductímetro
- ✓ Colorímetro para medición de cloro: se utilizó el Spectroquant Multy (casa distribuidora-MERK) y el colorímetro Cat. No. 46700-00 (casa distribuidora Hach)
- ✓ 2 probetas de 20 ml
- ✓ 1 buretas de 50ml
- ✓ 2 balones aforados
- ✓ 4 beacker

3.4.3. Reactivos

- ✓ Dietil-p-fenilen diamina (DPD)
- ✓ Ácido Sulfúrico 1.25N
- ✓ Cloruro de Bario 10%
- ✓ Agua destilada
- ✓ Fenolftaleína

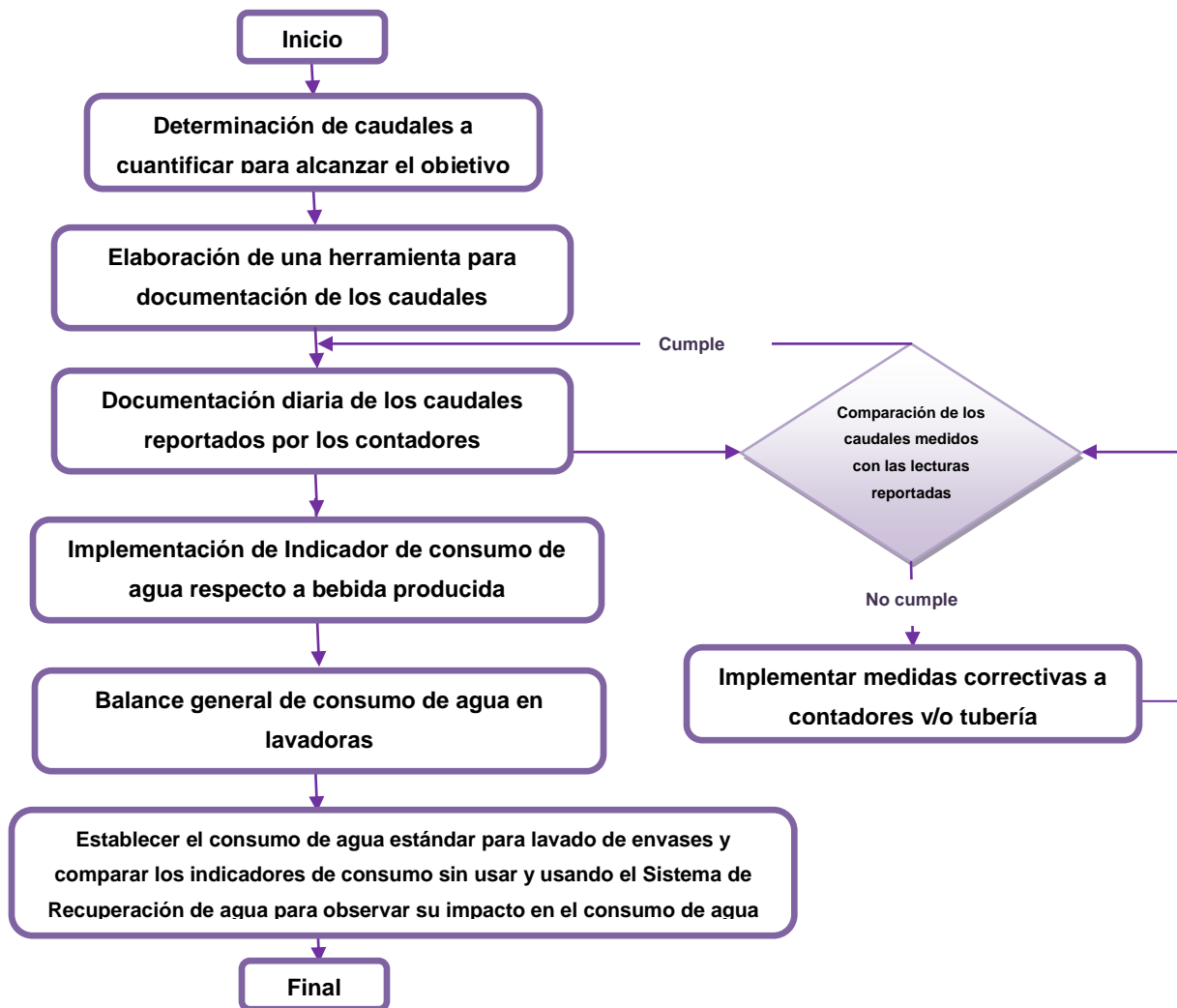
3.5. Técnica cuantitativa y cualitativa

El presente trabajo de graduación empleó ambas técnicas debido al desarrollo del estudio, a continuación se explica que abarca cada una de ellas.

3.5.1. Técnica cuantitativa

El presente trabajo de graduación empleó como técnica cuantitativa el procedimiento que se siguió para lograr establecer los consumos de agua en el sistema de lavadoras y a partir de ellos se estableció el balance general con el cual se evaluó el impacto en la reducción del consumo de agua suave generado por el sistema de recuperación de agua de lavadoras.

Figura 6. Diagrama de técnica cuantitativa

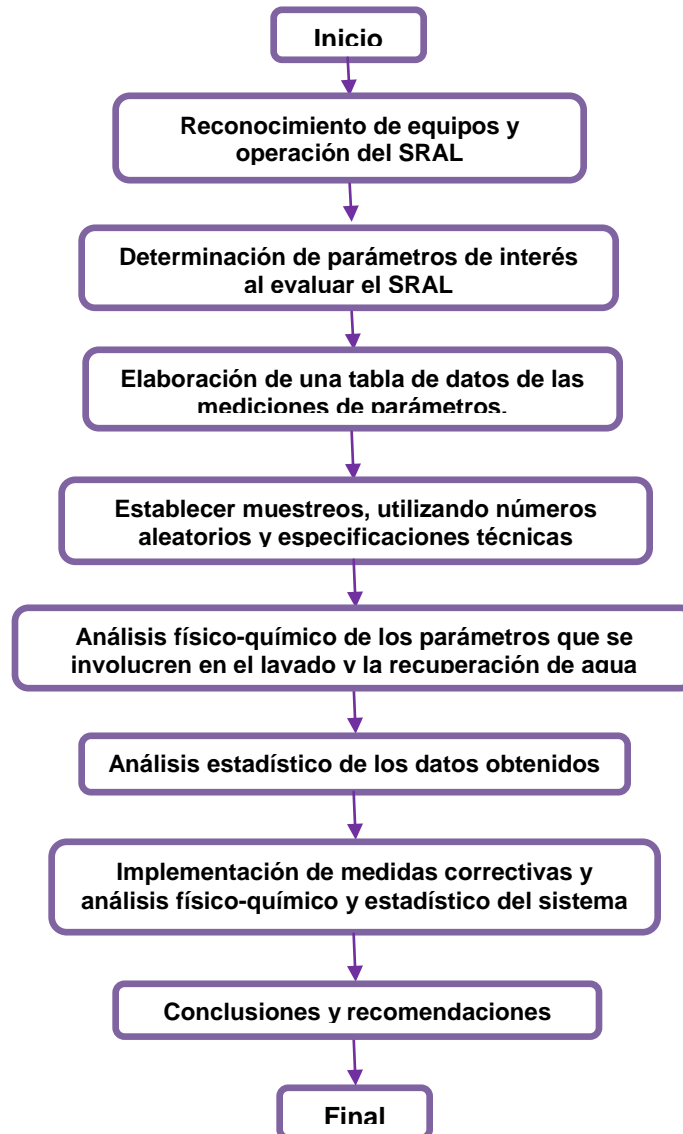


Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Técnica cualitativa

En el presente trabajo de graduación también se hizo uso de técnicas cualitativas, ya que se evaluó el sistema de recuperación de agua que una embotelladora de bebidas carbonatadas deseaba implementar. Para ello se siguió la técnica cualitativa que se muestra en la figura 7.

Figura 7. Diagrama de técnica cualitativa



Fuente: elaboración propia.

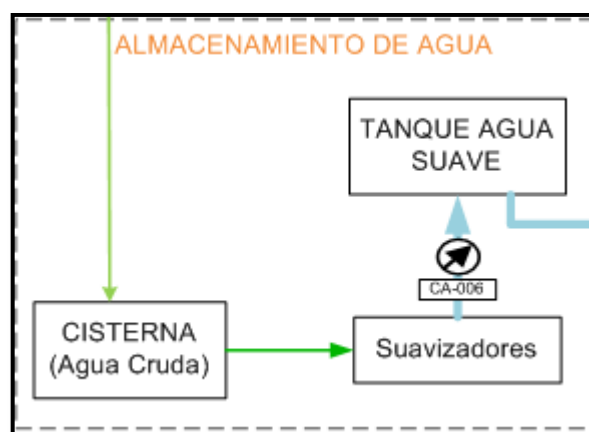
3.5.3. Monitoreo

Para la obtención de la información pertinente para la recolección de los consumos de agua suave que alimentaban las lavadoras fue necesario la determinación de los puntos de monitoreo de interés.

3.5.3.1. Agua suave

El abastecimiento de agua de la embotelladora de bebidas carbonatadas proviene de 3 pozos los cuales contribuyen al consumo en diferentes proporciones, siendo ubicados en una cisterna que distribuye agua cruda, agua tratada y agua suavizada. Siendo ésta última de interés para el estudio realizado se midió el consumo de agua cruda que es convertida en agua suavizada. El punto de muestreo de interés fue ubicado en contador general de producción de agua suave y sistemas auxiliares: CA-006

Figura 8. Ubicación de contador en línea de tubería para agua suave

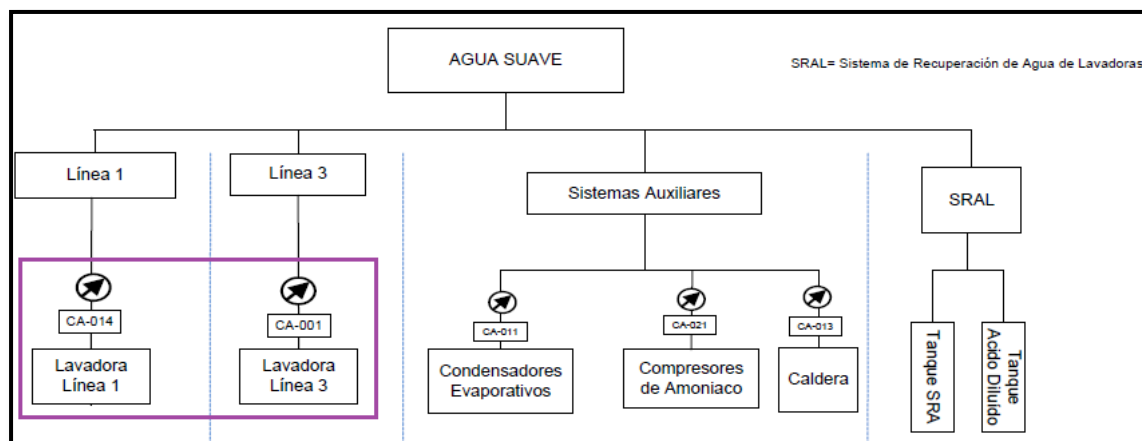


Fuente: BONILLA, Walter. Informe CGP+L, p. 11.

3.5.3.2. Lavadora

La embotelladora de bebidas carbonatadas cuenta con 2 lavadoras, una de la línea de producción 3 y la otra de la línea 1, de las cuales la de la línea 1 trabaja únicamente 5 días al mes, por lo que el consumo de agua suave no es significativo en comparación con el de la lavadora de la línea 3 por ende para los puntos de descargas y de sistema de recuperación se hicieron en base a los flujos reportados para la línea 3. Los puntos de monitoreo de interés con los que se obtuvo la información son: contador línea 1(CA-014): M-2"-04-15011, contador línea 3 (CA-001): TEKVAL 0712003924

Figura 9. Ubicación de contadores en línea de tubería



Fuente: BONILLA, Walter. Informe CGP+L, p. 20.

Descargas de lavadora a monitorear con flujómetro ultrasónico:

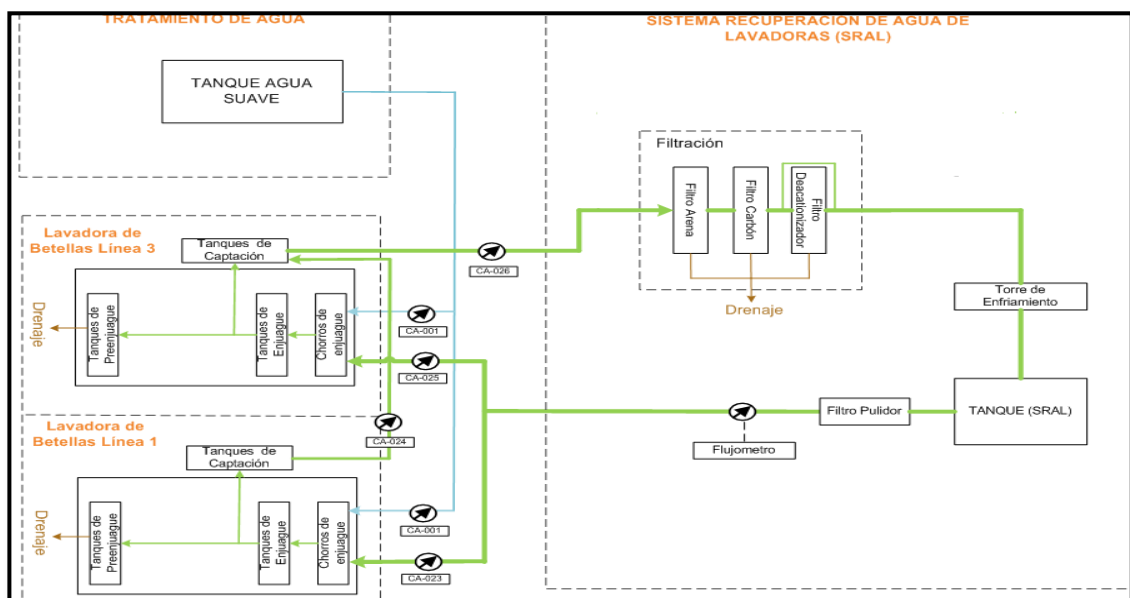
- ✓ Lavado de filtros de tanques de lavadora
- ✓ Descarga tanque pre-enjuague
- ✓ Lavadora de cajas
- ✓ Volumen agua en tanques de enjuague final 1 y 2

3.5.3.3. Sistema de recuperación de agua de lavadoras

El sistema, que fue evaluado para determinar si es capaz de cumplir con los requerimientos de la marca registrada, cuenta con: filtro de arena, filtro carbón, filtro de intercambio iónico, cloración en línea, torre de enfriamiento, taque de homogenización para la cloración final y filtro pulidor. Existían problemas debido al control de los parámetros fisicoquímicos que presentaba dicho sistema por lo que fue necesario monitorearlo.

Con fines de estudio en ver el impacto en la reducción de consumo de agua: contador de línea 1 y línea 3 (CA-026), contador de de abastecimiento línea 1(CA-023) y contador de de abastecimiento línea 3 (CA-025).

Figura 10. Ubicación de contadores en línea de tubería



Fuente: BONILLA, Walter. Informe CGP+L p. 14.

Con fines de realizar el análisis fisicoquímico del sistema de recuperación de agua de lavadoras se monitoreó y controlaron los siguientes parámetros:

Tabla IX. **Parámetros a monitorear del sistema de recuperación de agua de lavadoras**

Parámetros	Puntos de medición
Concentración de soda	*Tanque de captación de agua de lavadora, *Tanques 1, 2, 3 de lavadora
pH	*Tanque de captación de agua de lavadora, *Tanque homogenización y almacenaje de agua recuperada, * Entrada de chorros de lavadora
Cloro libre	*Tanque homogenización y almacenaje de agua recuperada, * Entrada de chorros de lavadora
TDS	*Tanque de captación de agua de lavadora, *Tanque homogenización y almacenaje de agua recuperada,
Temperatura	*Tanque de captación de agua de lavadora, *Entrada y salida de torre de enfriamiento * Entrada de chorros de lavadora

Fuente: elaboración propia.

En la sección de anexos se muestra un diagrama de equipo del sistema de recuperación de agua de lavadora en el cual se puede ubicar los puntos de muestreo antes descritos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Se estableció un procedimiento adecuado en el cuál se estableciera la forma para recolectar y ordenar la información recabada, para así obtener los objetivos planteados.

3.6.1. Procedimientos para la recolección de información

Con el fin de establecer los puntos de monitoreo y control de las variables de interés se elaboraron los diagramas de equipo, diagrama de operación y las especificaciones técnicas del sistema de recuperación de agua.

Se tomaron registros de los contadores involucrados, descritos con anterioridad en el inciso 3.5.3., con dichos datos se realizó el balance general de la red de agua suavizada, con el que se establecieron los consumos del sistema de lavadoras y la oportunidad de recuperación de agua de dicho sistema. Determinando el porcentaje del agua de lavadora que es capaz de recuperarse y el porcentaje de agua que podría abastecerse en las lavadoras, determinando la oportunidad de reducción de consumo de agua que otorga dicho sistema de recuperación.

Se implementó un indicador de consumo de agua y se efectuaron muestreos en el área de lavado de envases y en el tratamiento de agua para observar el comportamiento de las variables y parámetros como: flujo de entrada a lavadoras, flujo de agua a recuperar, pH, cloro disuelto, concentración de soda, temperatura y presión, ya que todas éstas están involucradas en ambos sistemas y son los parámetros que según las especificaciones de la marca registrada al variar la proporción de agua suave y agua recuperada no deben ser afectadas.

Se realizaron 30 muestreos de los parámetros indicados y se realizó un análisis estadístico para observar si los procesos eran estables y capaces, con esto se determinaron las oportunidades de mejora del uso de agua en el sistema de lavadoras.

3.6.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación se subdivide en dos partes una que hace énfasis al balance de agua a realizar y la otra en la evaluación del sistema de recuperación.

3.6.2.1. Balance de masa

El presente estudio requirió la observación del consumo diario, según lo indicado en la sección 3.2.4.1., para ello se siguió el diseño de observaciones que se muestra en la tabla X.

Tabla X. **Diseño de observaciones para la reducción de consumo de agua en lavadoras**

Tipo de monitoreo	Variables a medir	Símbolo	Unidad	Acción
Diario	• Consumo de agua suave en lavadora	Q_{AS}	m ³ /día	Documentación, mediciones de flujos no
	• Consumo de agua recuperada en lavadora	Q_{AR}	m ³ /día	monitoreados, elaboración de pruebas para
	• Recuperación de agua de lavadora	Q_{SRA}	m ³ /día	comprobación de % de composición
	• Descargas	Q_D	m ³ /día	de agua suave y agua recuperada.

Fuente: elaboración propia.

3.6.2.2. Evaluación de los parámetros físico- químicos del sistema de recuperación de agua de lavadoras

Para la evaluación de los parámetros físico-químicos del sistema de recuperación de agua de lavadoras se planteó la realización de muestreos por 11 días, distribuidos en 5 casos como se plantea en la tabla XI.

Tabla XI. **Diseño de muestreo para el sistema de recuperación de agua de lavadora**

Caso No.	Situación	Acción
1 y 2	El sistema no cumple con especificaciones de: <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de agua recuperada a la entrada de chorros de lavadora. • Cloro libre • TDS • pH 	Monitoreo inicial del sistema trabajando solo la línea 3 y el segundo muestreo trabajando línea 1 y 3 juntas
3	Disminuir la temperatura del envase y observar los parámetros fisicoquímicos antes mencionados.	Fijar los chorros de enjuague para verificar si eso contribuye a reducir la temperatura, analizar comportamiento de los demás parámetros.
4	Disminuir la temperatura del envase y observar los parámetros fisicoquímicos antes mencionados.	Declarar tanque 3 de lavadoras como secundario y reducir la temperatura de 60°C a 48°C.
5	Observar los parámetros fisicoquímicos antes mencionados.	Suspender uso de aditivos químicos de lavadora.

Fuente: elaboración propia.

Observe un diagrama y una tabla más detallada del diseño de muestreo para el sistema de recuperación de agua en el apéndice 3.2.

3.6.3. Métodos para el control de los datos

Análisis estadístico: límites de control, capacidad del proceso y sigma del proceso. Únicamente para establecer comportamiento de los parámetros en cuanto al cumplimiento de las especificaciones deseadas según la marca registrada.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información

Para realizar cada una de las mediciones se realizaron diversos procedimientos, los cuales se describen a continuación.

3.7.1. Medición de consumo de agua suave en sistema de lavadora

Para establecer la reducción de consumo de agua suave en el área de lavadoras se realizó toma de datos diarios durante 5 meses, ello se realizó de la siguiente forma:

Procedimiento

- ✓ Elaboración de herramienta de base de datos de los consumos de contadores indicados en la sección 4.5.3.
- ✓ Toma de datos diaria del consumo de dichos contadores
- ✓ Cálculo de porcentaje de agua recuperada
- ✓ Cálculo de oportunidad de agua a recuperar

Cálculos

- ✓ Porcentaje de agua recuperada

$$\%ARL = \frac{ASRL}{CTAL} * 100$$

Donde:

%ARL=agua recuperada de lavadora (%)

ASRL= agua sistema de recuperación de lavadora (m³)

CTAL= consumo total de agua en lavadora (m³)

- ✓ Oportunidad de agua a recuperar

$$Op = \left(\frac{0.8 * CAE * NUL}{1000 * 1000} \right) - ASRL$$

Donde:

Op= oportunidad de agua a recuperar (m³)

CAE= consumo de agua por envase (ml)

NUL= número de unidades lavadas

ASRL= agua sistema de recuperación de lavadora (m³)

3.7.2. Indicador de consumo de agua

En el caso del sistema de agua se tomó como indicador de resultado a la cantidad de agua utilizada por cantidad de bebida producida. Indicador que ya tenía establecido la embotelladora de bebidas carbonatadas para el consumo de agua tratada.

Procedimiento

- ✓ Toma de datos de la producción mensual de bebida.
- ✓ Completar con la información anterior según indicador deseado.

Cálculos

- ✓ Indicador de consumo de agua suave

$$Y_s = \frac{\text{cantidad de agua consumida (m}^3\text{)}}{\text{cantidad de bebida producida (m}^3\text{)}}$$

3.7.3. Flujos de descargas y ramales no contabilizados

En la embotelladora de bebidas carbonatadas existen ramales de agua suave no contabilizados, por lo que fue necesario la estimación de un flujo para el consumo diario, para la obtención de éstos se siguió el siguiente procedimiento.

Equipo

- ✓ Flujómetro portable ultrasónico Doppler

Procedimiento

- ✓ Hacer la medición en tramos verticales, alejados de accesorios y bombas (según instructivo de flujómetro)
- ✓ Limpiar tubería de flujo a medir
- ✓ Encender el flujómetro

- ✓ Ingresar el diámetro de la tubería del flujo a medir
- ✓ Establecer unidades de medida en GPM
- ✓ Establecer velocidad de flujo (sin que este marque fuera de rango)
- ✓ Añadir gel a los electrodos del flujómetro
- ✓ Realizar la medición asegurándose de que el indicador de lectura (luz en el panel del flujómetro) se encuentre correctamente.
- ✓ Anotar lectura de flujo que aparece en la pantalla del flujómetro.
- ✓ Seguir éste procedimiento para cada una de los puntos a medir.

Figura 11. **Flujómetro ultrasónico**



Fuente: fotografías documentadas al realizar la medición.

3.7.4. Proporción de agua recuperada/agua suave en la entrada de chorros de lavadora

Para el establecimiento de la proporción de agua recuperada / agua suave que entra a la lavadora se realizó la siguiente prueba:

Equipo

- ✓ Contador
- ✓ Cronómetro

Procedimiento

- ✓ Tomar la medición de los respectivos contadores en un tiempo cero
- ✓ Tomar medición de tiempo de 5 minutos de operación de chorros. (ya que la lavadora no trabaja períodos continuos)
- ✓ Tomar la medición de los respectivos contadores
- ✓ Calcular el caudal para cada tipo de agua.
- ✓ Establecer proporciones.

Cálculos

- ✓ Caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q= caudal (m³/mes)

V= volumen de agua (m³)

t= tiempo (mes)

- ✓ Porción de agua suave

$$\%AS = \frac{Q_{AS}}{Q_{AS} + Q_{AR}} * 100$$

Dónde:

%AS= porción de agua suave que entra (%)

Q_{AS}= caudal agua suave (m³/mes)

Q_{AS}= caudal agua recuperada (m³/mes)

- ✓ Porción de agua recuperada

$$\%AR = \frac{Q_{AR}}{Q_{AS} + Q_{AR}} * 100$$

Dónde:

%AR= porción de agua recuperada que entra (%)

Q_{AS} = caudal agua suave (m^3/mes)

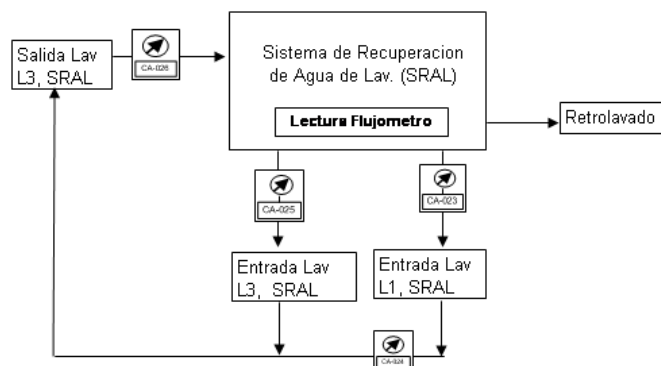
Q_{AR} = caudal agua recuperada (m^3/mes)

3.7.5. Balances de masa

El balance general de masa de la red de agua suavizada, compuesto por los subprocesos de lavadoras, sistemas auxiliares, recuperación de agua, estableció el consumo óptimo de agua. Para ello se hizo uso de la información recabada en los incisos anteriores para la elaboración del debido balance.

$$\text{Acumulación} = (\text{Entradas} - \text{Salidas}) + (\text{generación} - \text{consumo})$$

Figura 12. Sistema de recuperación de agua



Fuente: BONILLA, Walter. Informe CGP+L p. 15.

3.7.6. Medición de pH

El pH es un valor que representa convencionalmente la concentración de iones hidrógeno de una disolución acuosa.

Equipo e instrumentación

- ✓ Potenciómetro y conductímetro
- ✓ *Beacker* 200ml

Procedimiento

- ✓ Tomar una muestra de 200ml en un *beacker*
- ✓ Tirar la muestra y recolectar otra de 100ml.
- ✓ Encender el potenciómetro y conductímetro.
- ✓ Introducir el potenciómetro y esperar a que se estabilice la lectura
- ✓ Anote la lectura
- ✓ Lave el potenciómetro y conductímetro con agua destilada y seque suavemente.
- ✓ Introduzca el potenciómetro en la solución *buffer*

3.7.7. Medición TDS

Es una expresión para el contenido combinado de todas sustancias inorgánica y orgánica contenidas en un líquido que están presentes en forma molecular, ionizada o microgranular.

Equipo e instrumentación

- ✓ Potenciómetro y conductímetro
- ✓ *Beacker* 200ml

Procedimiento

- ✓ Tomar una muestra de 200ml en un *beacker*
- ✓ Tirar la muestra y recolectar otra de 100ml.
- ✓ Encender el potenciómetro y conductímetro.
- ✓ Presionar botón MODE luego botón DERECHOS y seleccionar de la lista de menú desplegado en la pantalla el botón que aparece para TDS.
- ✓ Introducir el conductímetro y esperar a que se estabilice la lectura
- ✓ Anotar la lectura
- ✓ Lave el potenciómetro y conductímetro con agua destilada y seque suavemente.
- ✓ Introduzca el potenciómetro en la solución *buffer*

3.7.8. Medición cloro libre

Es aquel cloro que se encuentra en el agua que aún tiene capacidad de sanitizarla.

Equipo e instrumentación

- ✓ Colorímetro Cat. No. 46700-00 (casa distribuidora Hach)
- ✓ *Beacker* 100ml
- ✓ Balón aforado 25ml
- ✓ Jeringa 5ml

Procedimiento

- ✓ Tomar una muestra de 100ml en un *beacker*
- ✓ Tirar la muestra y recolectar otra de 50ml.
- ✓ Tome con la jeringa 5ml de la muestra.
- ✓ Coloque los 5ml en el balón aforado y diluya con agua destilada hasta el aforo.
- ✓ Tome 10ml de la muestra y colóquelos en la celda de blanco
- ✓ Introduzca la celda dentro del colorímetro, el diamante que posee la celda debe de estar alineado con la flecha que posee el colorímetro.
- ✓ Presione el botón ZERO
- ✓ Tome 10ml de la muestra y colóquelos en la celda para test.
- ✓ Añada un sobre de reactivo DPD, agite y espere 1min
- ✓ Introduzca la celda dentro del colorímetro, el diamante que posee la celda debe de estar alineado con la flecha que posee el colorímetro.
- ✓ Presione el botón *TEST*
- ✓ Anote la lectura y multiplíquela por 5
- ✓ Lave las celdas con agua destilada y seque suavemente.

3.7.9. Medición de concentración de soda

Hidróxido de sodio que se transporta por arrastre en el lavado de envase, medidos en los 3 tanques que componen la lavadora y en el tanque del agua a recuperar por el sistema.

Reactivos e instrumentación

- ✓ Agua destilada
- ✓ Ácido Sulfúrico 1.25N

- ✓ Cloruro de bario 10%
- ✓ Fenolftaleína
- ✓ Bureta 50ml
- ✓ *Beacker* 50ml
- ✓ Probeta 25ml

Procedimiento

- ✓ Tomar una muestra de 20ml en un *beacker*
- ✓ Tirar la muestra y recolectar otra de 20ml.
- ✓ Tome 5ml de la muestra en una probeta.
- ✓ Coloque los 5ml en el *beacker* y diluya con 25ml de agua destilada.
- ✓ Agregue 5ml de cloruro de bario
- ✓ Agregue 3 gotas de fenolftaleína
- ✓ Titule con ácido sulfúrico 1.25N hasta el cambio de color.
- ✓ Anote el volumen gastado y eso equivale a %de hidróxido de sodio (NaOH) en la muestra.
- ✓ Lave los instrumentos con agua destilada y seque.

3.7.10. Medición de temperatura

Mida la temperatura en los puntos indicados en la sección 3.5.3.3., para esto utilice un termómetro de mercurio o bien láser según aplique.

Equipo e instrumentación

- ✓ Termómetro láser marca OAKTON 35625-40
- ✓ Termómetro de mercurio
- ✓ *Beacker* 100ml

Procedimiento termómetro de mercurio

- ✓ Tomar una muestra de 100ml en un *beacker*
- ✓ Introduzca el termómetro de mercurio
- ✓ Espere a que se estabilice la lectura y anote.

Procedimiento termómetro laser

- ✓ Apunte sobre la superficie que desea medir, asegúrese que no haya interferencia de los exteriores. (ejemplo aire caliente de bombas, aislante, etc.)
- ✓ Presione ONN
- ✓ Espere a que estabilice la lectura y anote.

3.7.11. Tabulación de datos

La tabulación de datos se realizó según el balance de masa y la evaluación del sistema de recuperación, por lo que a continuación se describe cada una de ellas.

3.7.11.1. Balance de materia

Los datos obtenidos durante el monitoreo de agua suave en el área de lavado de envases se tabularon en tablas y fueron realizados los cálculos necesarios para la obtención de los resultados. Dichos datos se muestran en el apéndice 4.

3.7.11.2. Evaluación de los parámetros físico-químicos del sistema de recuperación de agua

Se realizó una tabla completa con los parámetros a monitorear y se desglosó para facilidad de manipulación de datos como se muestra en el apéndice 4.

Con la información tabulada y ayuda del complemento *spctool* de Microsoft Excel se elaboraron los histogramas que se muestran en la sección de Resultados.

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis del sistema de recuperación agua de lavadoras se hizo uso de las herramientas estadísticas en las que se basa el control de un proceso. Dentro de las cuales se pueden mencionar:

- ✓ Promedio y desviación estándar:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad y \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{N}}$$

Donde:

\bar{x} = promedio

σ = desviación estándar

x_i = serie de datos

N = número de datos

- ✓ Límites de control:

$$\text{Límite inferior} = \bar{X} - 3,09s \qquad \text{Límite superior} = \bar{X} + 3,09s$$

Donde:

Límite Inferior = límite inferior de control

Límite Superior = límite superior de control

\bar{x} = promedio

s = desviación estándar

Estos límites surgen de la hipótesis de que la distribución de las observaciones es normal. En general se utilizan límites de 2 sigmas ó de 3 sigmas alrededor del promedio. En la distribución normal, el intervalo de 3,09 sigmas alrededor del promedio corresponde a una probabilidad de 0,998.

- ✓ La capacidad de un proceso: es la aptitud para generar un producto que cumpla con determinadas especificaciones. En el mejor de los casos, es conveniente que los límites de tolerancia natural del proceso se encuentren dentro de los límites de especificación del producto. De esta manera nos aseguramos que toda la producción cumplirá con las especificaciones.

$$Cp = \frac{(LSE - LIE)}{6 * \sigma}$$

Donde:

LIE= límite inferior de especificación

LSE = límite superior de especificación

σ = desviación estándar

Si el proceso tiene capacidad para fabricar el producto, entonces $C_p > 1$. En general se exige $C_p > 1,30$ para mayor seguridad.

Como se ve, el coeficiente C_p permite calificar la variabilidad tanto del producto como del proceso, siendo mayor la capacidad de cumplir con la especificación, mientras mayor es el valor de C_p . Este coeficiente tiene el inconveniente de que para poder aplicarlo el centro de gravedad del rango de especificaciones debe coincidir con la tendencia central de las mediciones del proceso. Cuando esto no ocurre se emplea el C_{pk} .

- ✓ Habilidad de proceso (C_{pk}): índice más significativo que toma en cuenta la posición del centro de la distribución con respecto a la de la especificación.

$$C_{pk} = \frac{\Delta}{3 * \sigma}$$

Donde:

$$\Delta = \text{Mínimo entre } [LSE - \bar{X}] \text{ y } [\bar{X} - LIE]$$

σ = desviación estándar

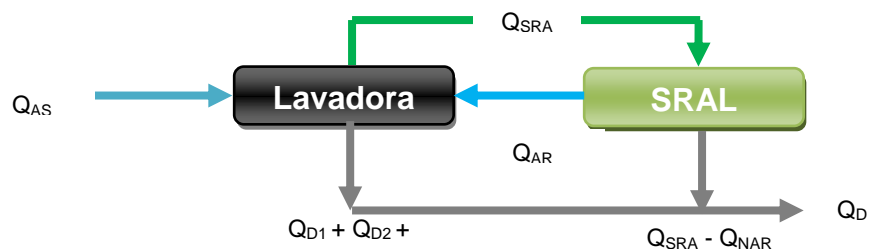
El C_{pk} debe de ser mayor que 1,30 para poder concluir que el proceso es capaz.

Se hizo uso de gráficos de control para observar la variabilidad del proceso con respecto a los límites de control y los límites de especificación.

4. RESULTADOS

Consumo de agua suave en el área de lavado de envases

Figura 13. Gráfico del balance de masa en el área de lavadoras



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Balance de consumo de agua suave lavadora línea 3

Símbolo	RUBRO	Caudal	
		m ³ /mes	%
Q _T	Total consumida	2800	100%
	Entrada Chorros Enjuague		
Q _{AS}	Agua suave	1696	61%
Q _{AR}	Agua recuperada	1104	39%
	Distribución de agua		
Q _{D1}	Descarga a tanque pre-enjuague	990	35%
Q _{SRA}	Flujo hacia tanque de captación	1580	56%
Q _{D2}	Suministro a lavadora de cajas	116	4%
Q _{D3}	Descarga	114	4%
	Destino		
Q _D	Drenaje	1360	49%
Q _{NAR}	Recuperación	1440	51%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Balance de consumo de agua suave lavadora línea 1**

Simbolo	RUBRO	Caudal	
		m ³ /mes	%
Q _T	Total consumida	546	100%

Simbolo	Entrada Chorros Enjuague	m ³ /mes	%
Q _{AS}	Agua suave	416	76%
Q _{AR}	Agua recuperada	130	24%

Simbolo	Distribución de agua	m ³ /mes	%
Q _{D1}	Descarga a tanque pre-enjuague	235	43%
Q _{SRA}	Flujo hacia tanque de captación	224	41%
Q _{D2}	Suministro a lavadora de cajas	48	9%
Q _{D3}	Descarga	40	7%

Simbolo	Destino	m ³ /mes	%
Q _D	Drenaje	493	90%
Q _{NAR}	Recuperación	53	10%

Fuente: elaboración propia.

Consumo de agua estándar para lavado de envases y porcentaje a recuperar

Tabla XIV. **Consumo de agua estándar para lavado de envases**

Especificación técnica (ml/envase)	Consumo estándar (ml/envase)	Oportunidad de reducción (m ³ / mes)
350	495	782

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Consumo estándar de agua y oportunidad de agua a recuperar línea 3**

Agua suave (%)	Agua recuperada (%)	Oportunidad a recuperar si el SRA trabaja al 60% (m³/mes)
61	39	452

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Consumo estándar de agua línea 1**

Agua suave (%)	Agua recuperada (%)
76	24

Fuente: elaboración propia.

Indicador de consumo de agua

Tabla XVII. **Indicador antes y después de la instalación del sistema de recuperación de agua**

Indicador promedio antes del SRA	2,23 L agua/ L bebida
Indicador promedio después del SRA	2,12 L agua/ L bebida

Fuente: elaboración propia.

Parámetros que caracterizan el agua de lavadora

Tabla XVIII. **Parámetros que caracterizan el agua suave**

Parámetro	Promedio	Especificación
pH	5,71	5,0 – 8,5
Cloro libre (ppm)	2,75	1,0 – 3,0
TDS (ppm)	< 500	< 500
Temperatura (°C)	24,56	23 – 26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Parámetros que caracterizan el agua recuperada**

Parámetro	Promedio	Especificación
pH	6,09	5,0 – 8,5
Cloro libre (ppm)	1,05	1,0 – 3,0
TDS (ppm)	1177	< 500
Temperatura (°C)	28,50	23 – 26

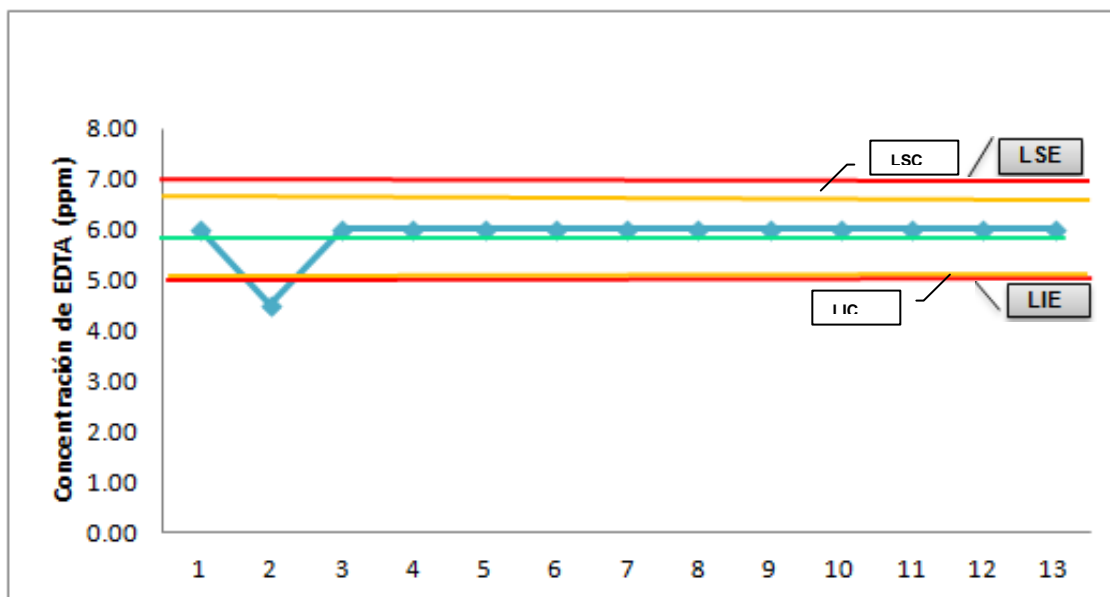
Fuente: elaboración propia.

Sistema de recuperación de agua de lavadoras

✓ **Caso 1**

(Ver sección 3.6.2.2. para descripción de los casos)

Figura 14. **Gráfico de control de la concentración de agente acomplexante en tanque de lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Datos del gráfico de control de la concentración del agente acomplexante en tanque de lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Agente acomplexante (ppm)	[4 - 6] ppm
	Promedio	5,88 ppm

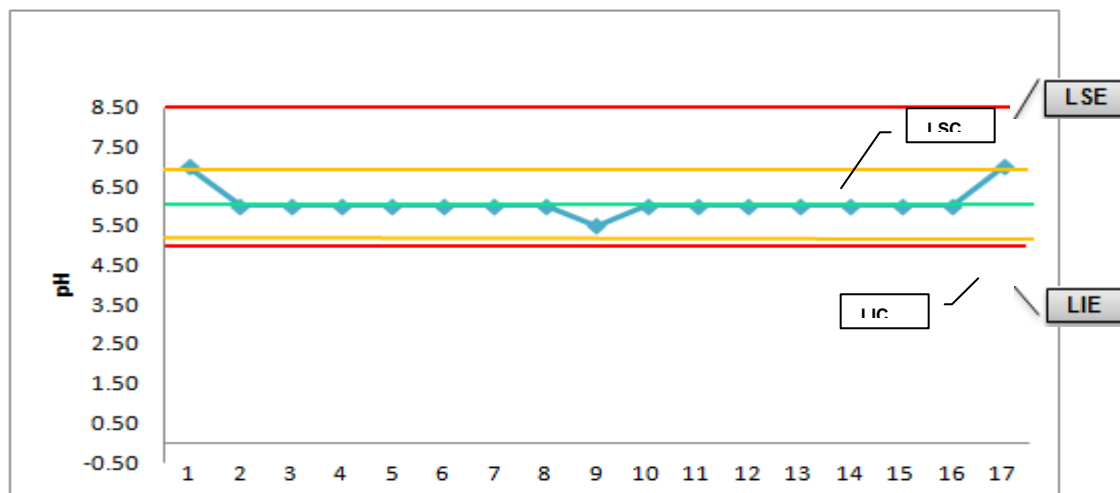
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Control estadístico de la concentración del agente
acomplejante**

Herramienta estadística	Valor
Promedio	5,88
Desviación estándar	0,42
Límite superior de control (LSC)	6,72
Límite inferior de control (LIC)	5,05
Límite superior de especificación (LSE)	7,00
Límite inferior de especificación (LIE)	5,00
Cp	0,80
Cp _K	0,71

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de
chorros de enjuague en lavadora**



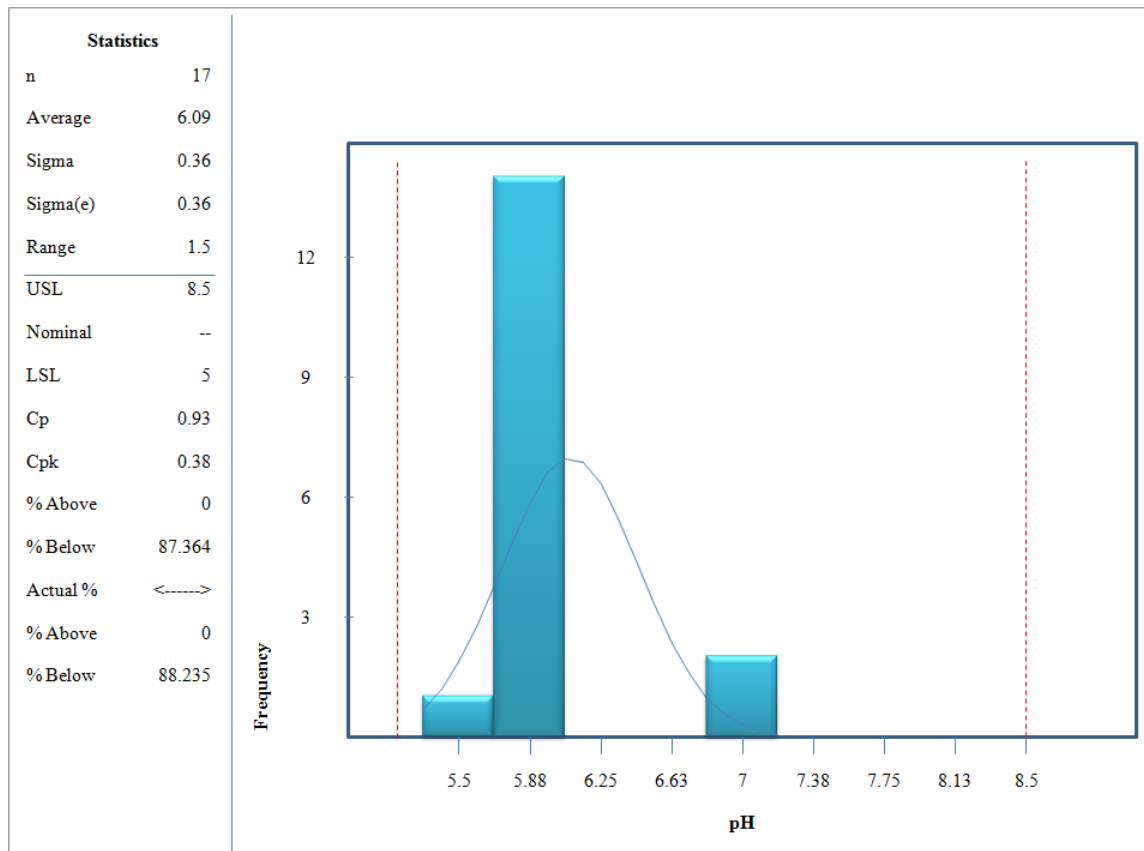
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**

Color	Descripción	Rango
	pH	[5 - 8,5]
	Promedio	6,09

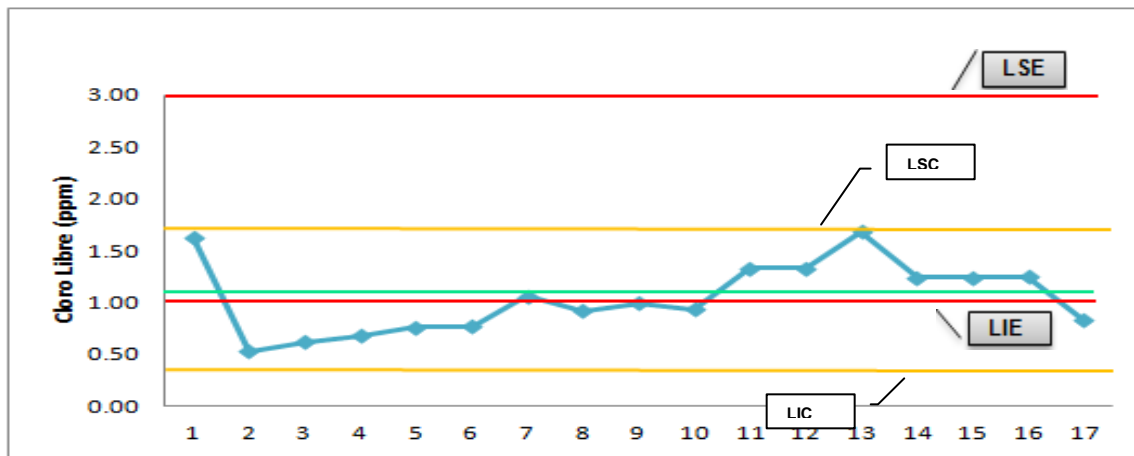
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



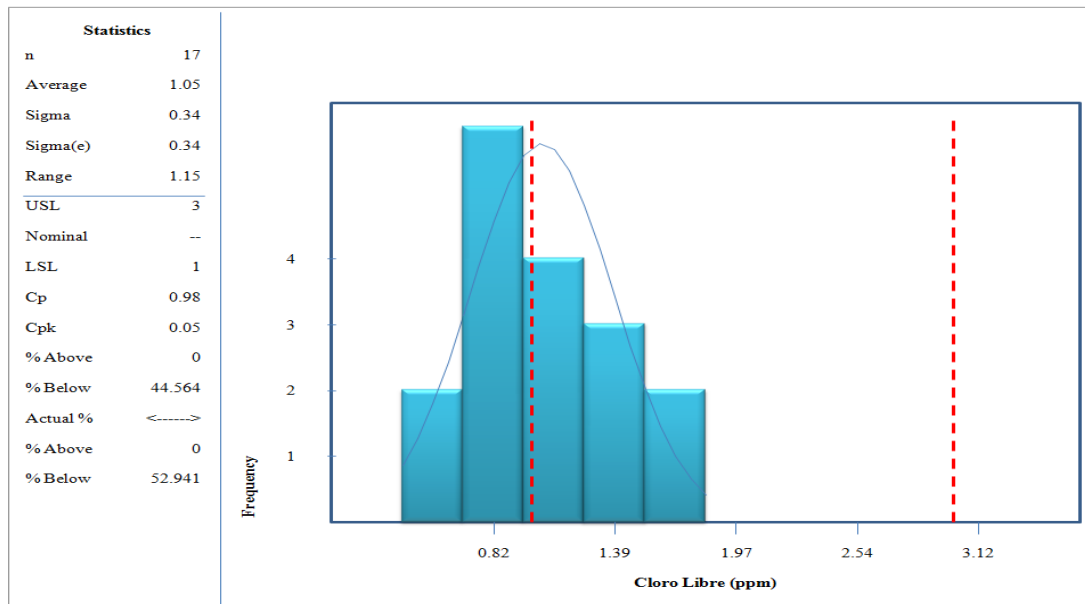
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Cloro Libre (ppm)	[0,5 - 1,72] ppm
	Promedio	1,05 ppm

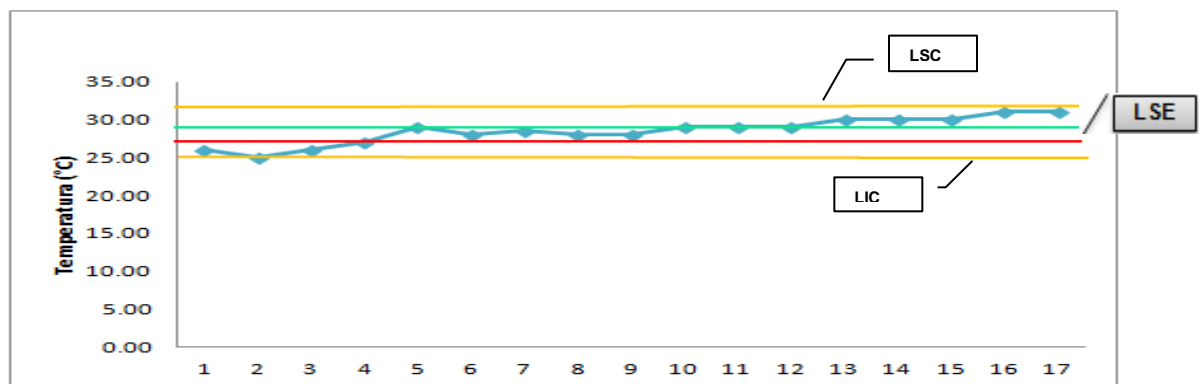
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



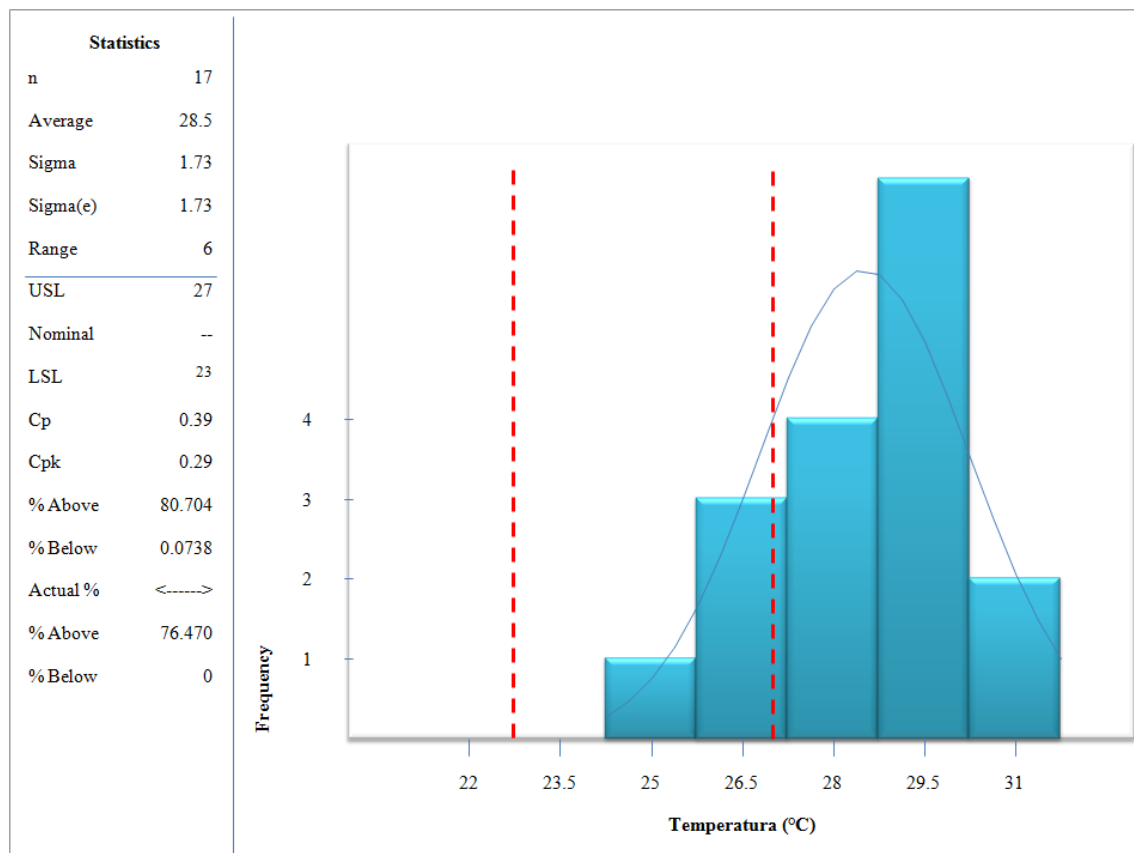
Fuente: elaboración propia.

.Tabla XXIV. Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[25 - 31] °C
	Promedio	28,50 °C

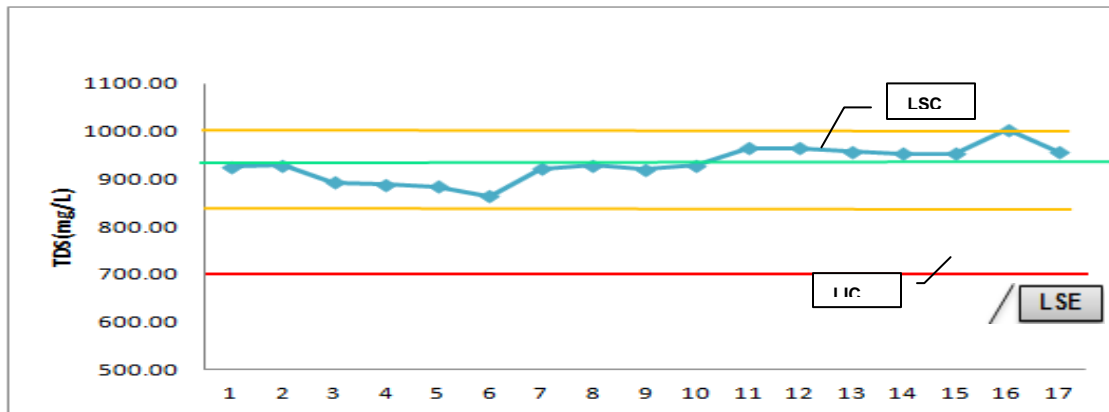
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación



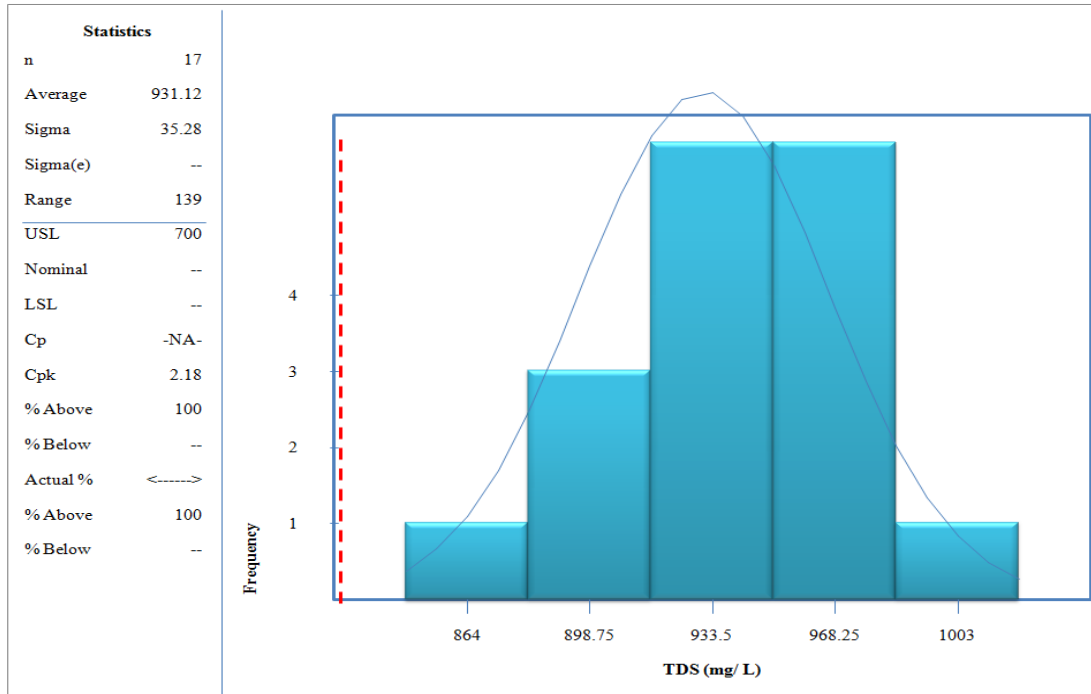
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación

Color	Descripción	Rango
	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	[860,55 - 1001] mg/L
	Promedio	931,12 mg/L

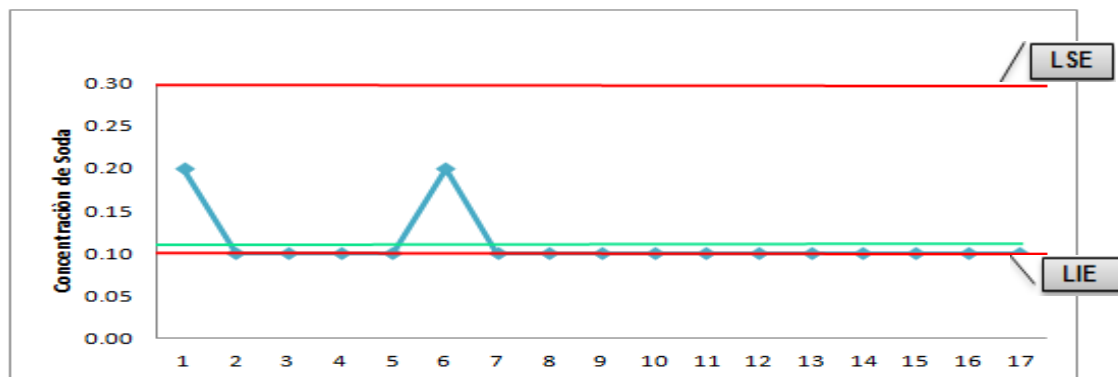
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Histograma de TDS del agua en tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Gráfico de control de concentración de soda en tanque de captación



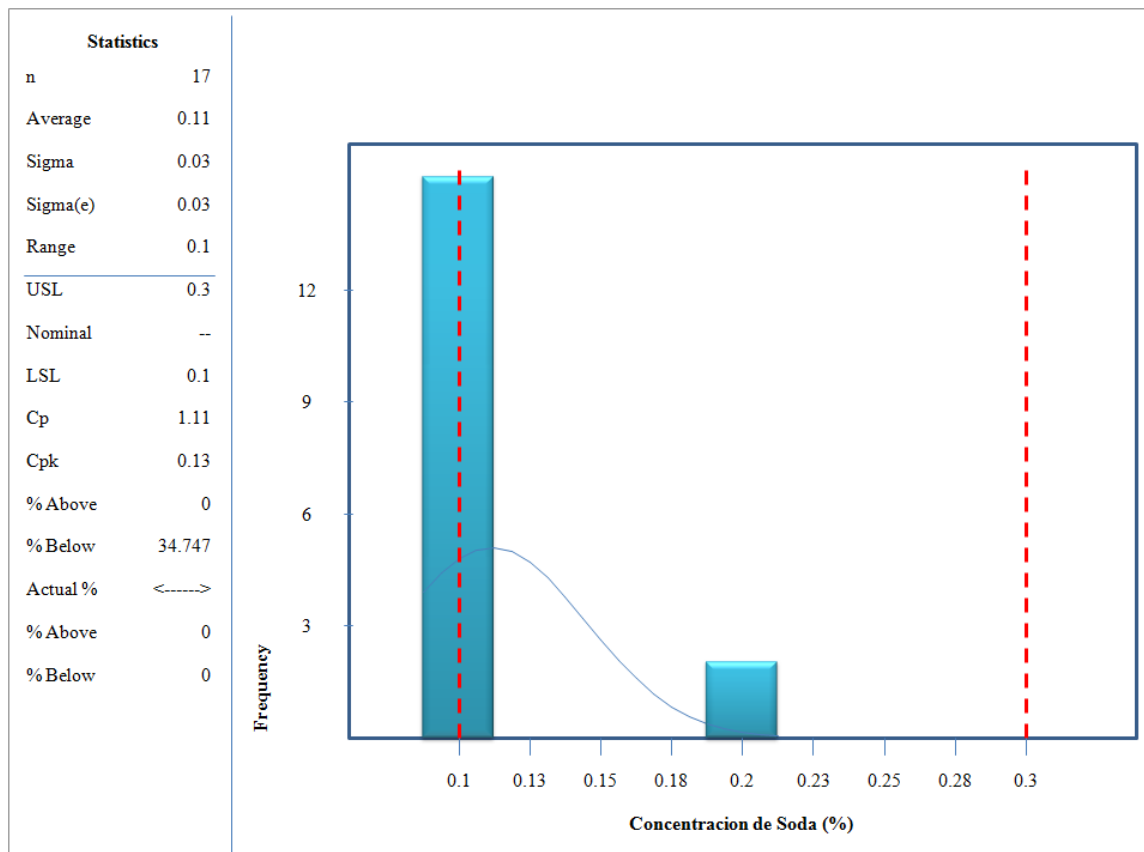
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Datos del gráfico de control de concentración de soda en el tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Concentración de Soda (%)	[0,1 – 0,2] %
	Promedio	0,11 %

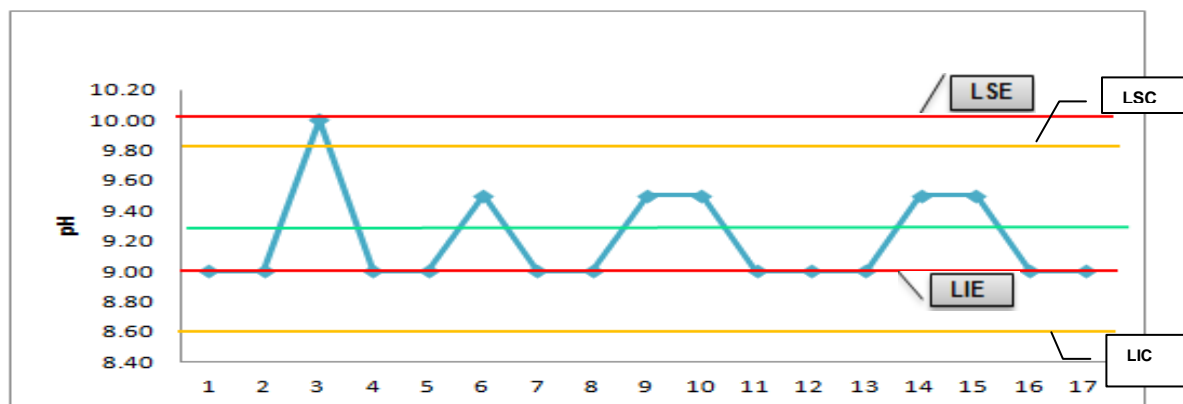
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Histograma de concentración de soda en el tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Gráfico de control del pH en el tanque de captación



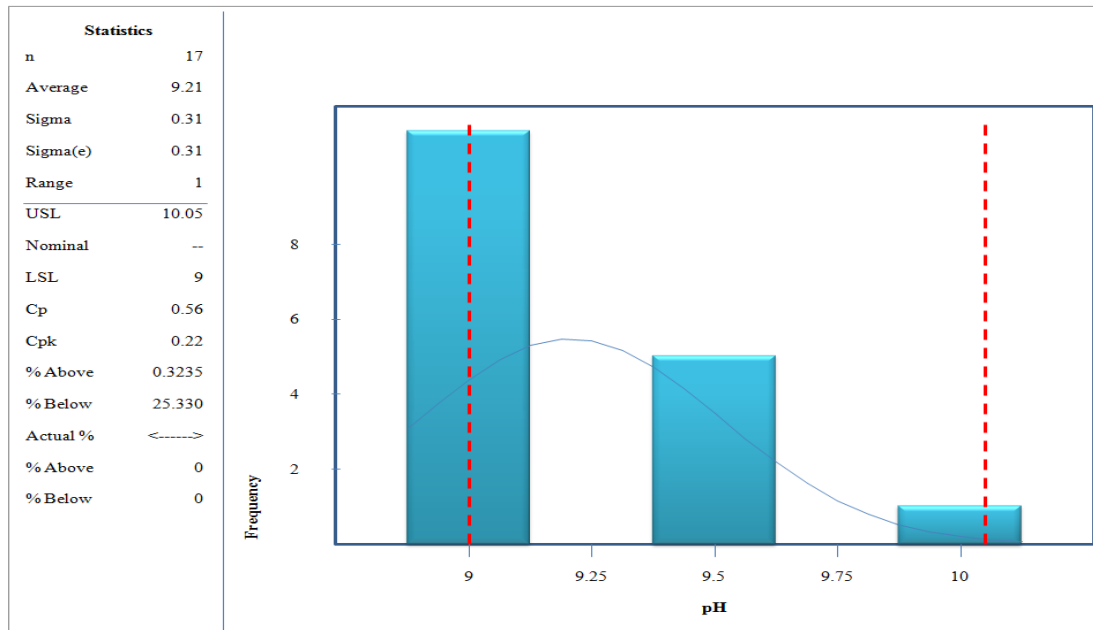
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación

Color	Descripción	Rango
	pH	[9 - 10]
	Promedio	9,21

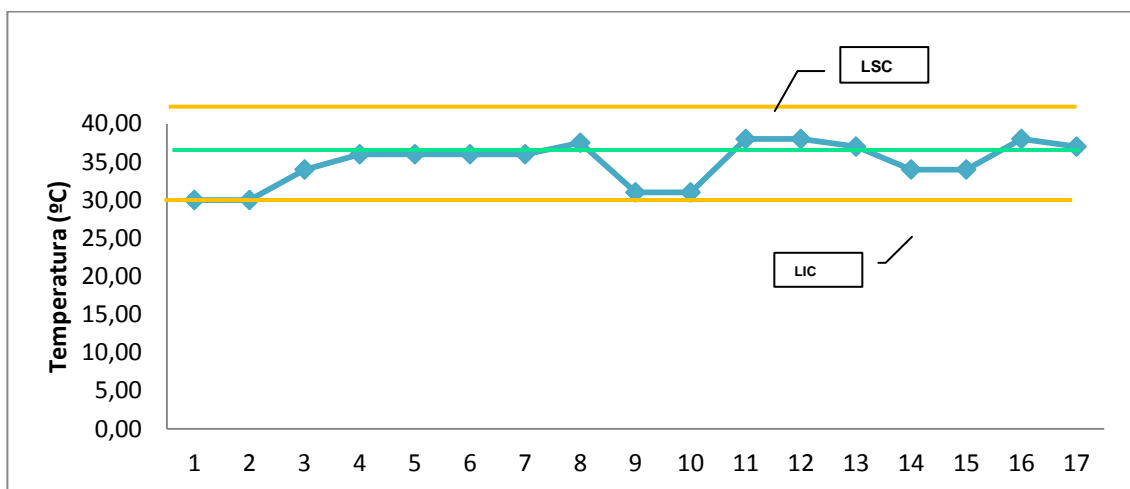
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Histograma del pH en el tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación



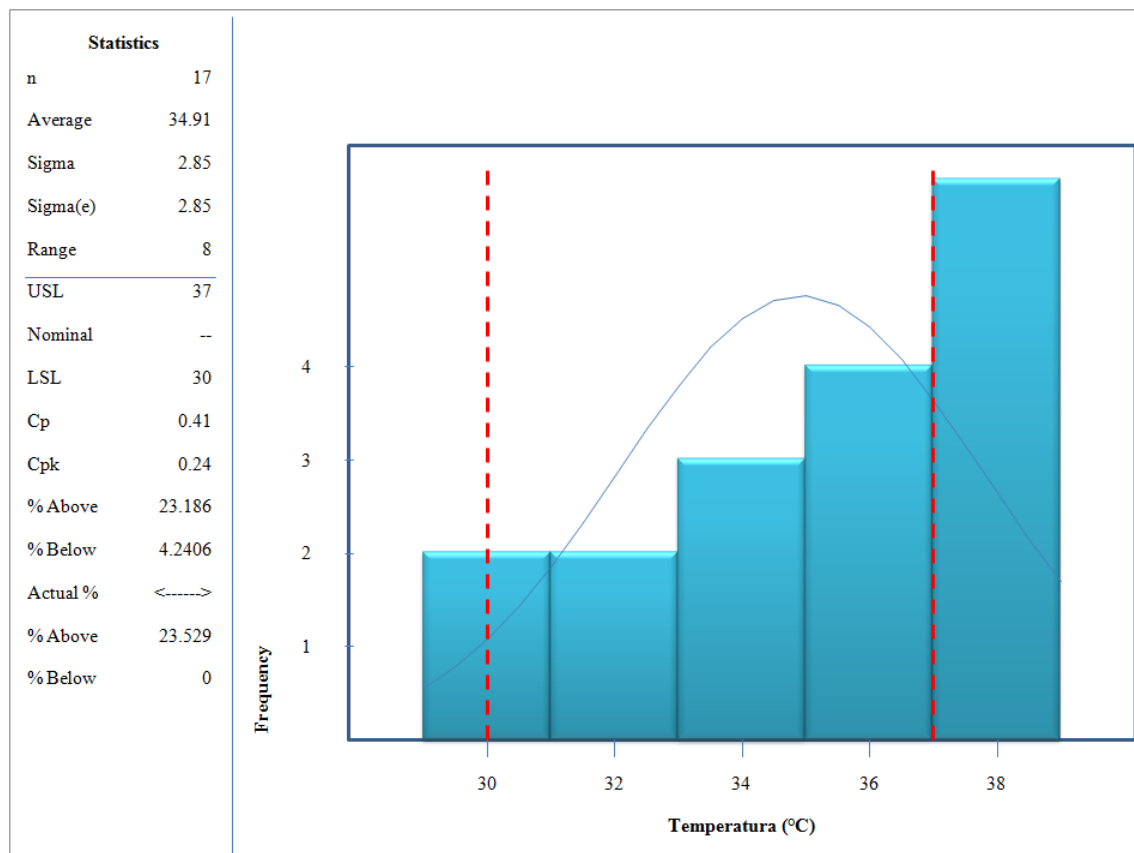
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[30 - 39] °C
	Promedio	34,91°C

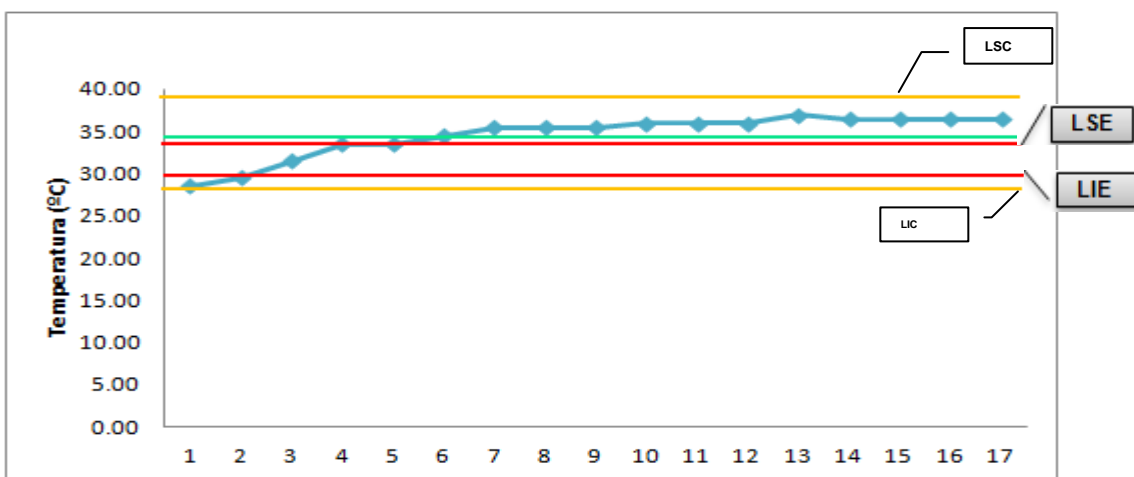
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Histograma de la temperatura en el tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**



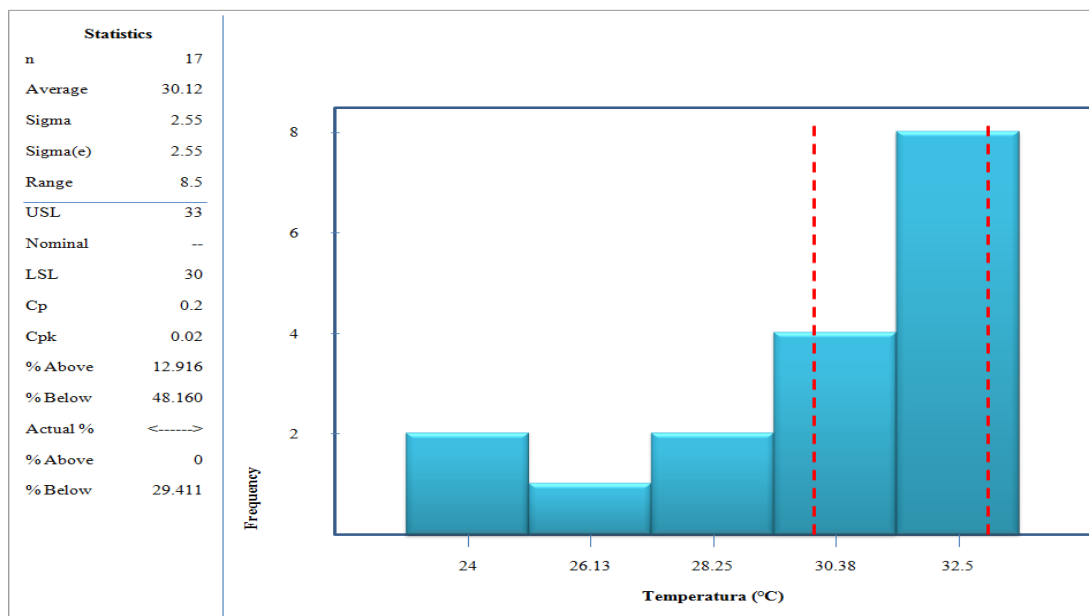
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[28,5 – 37,0] °C
	Promedio	34,62°C

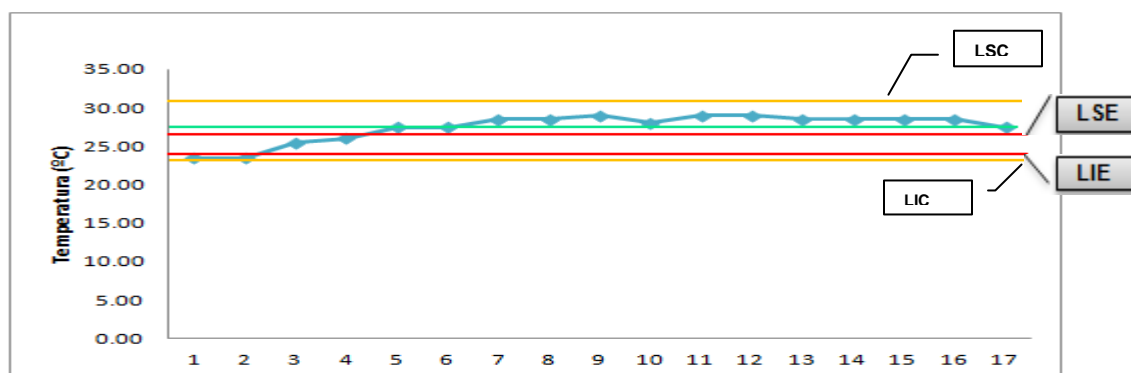
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



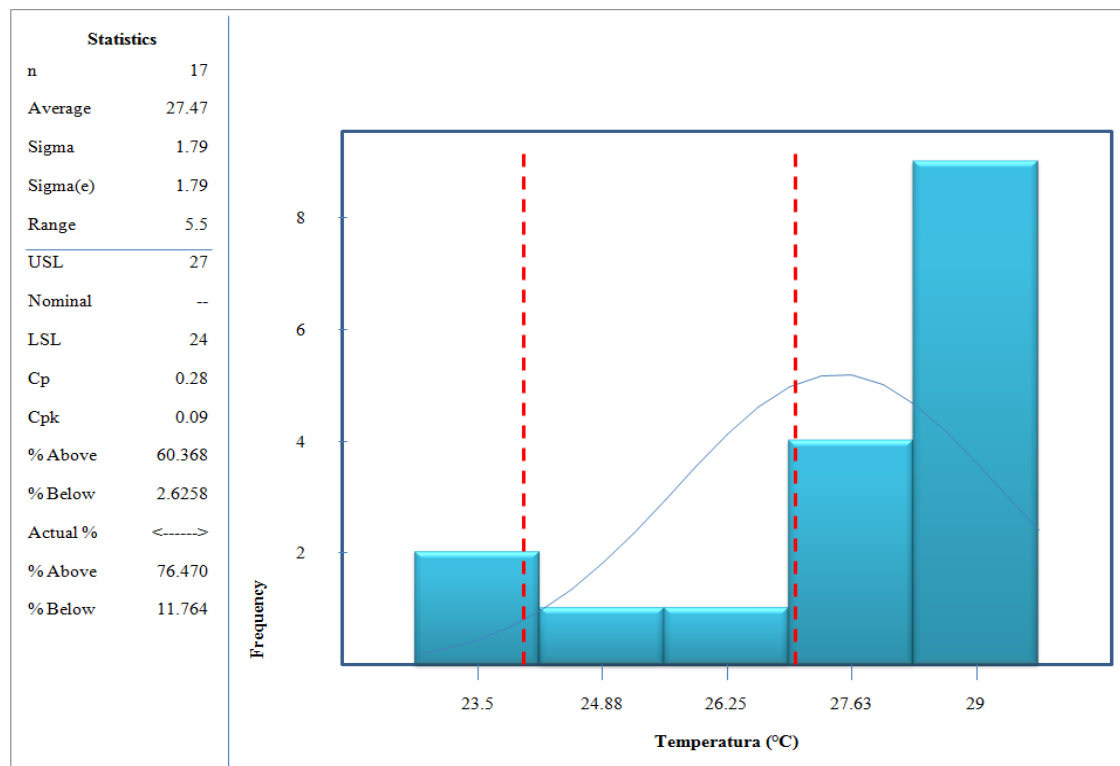
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[23,5 – 29,0] °C
	Promedio	27,47 °C

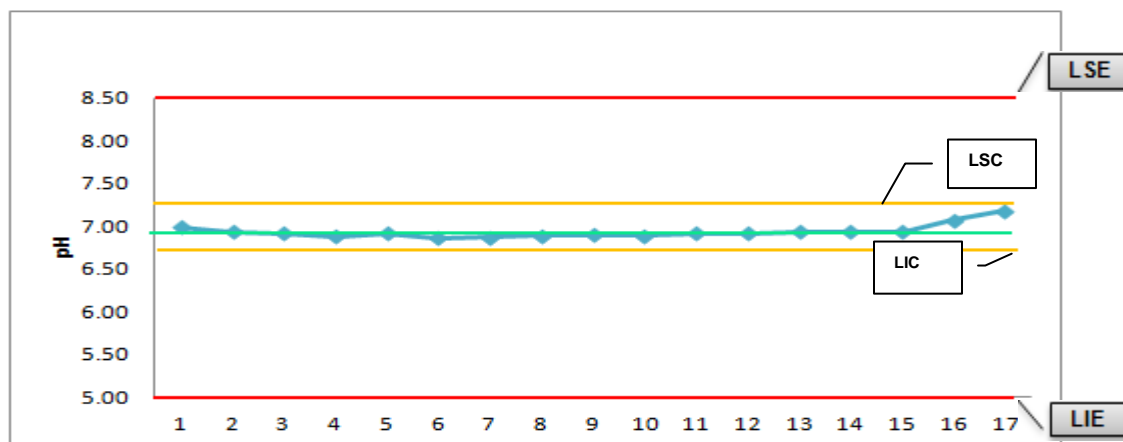
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento



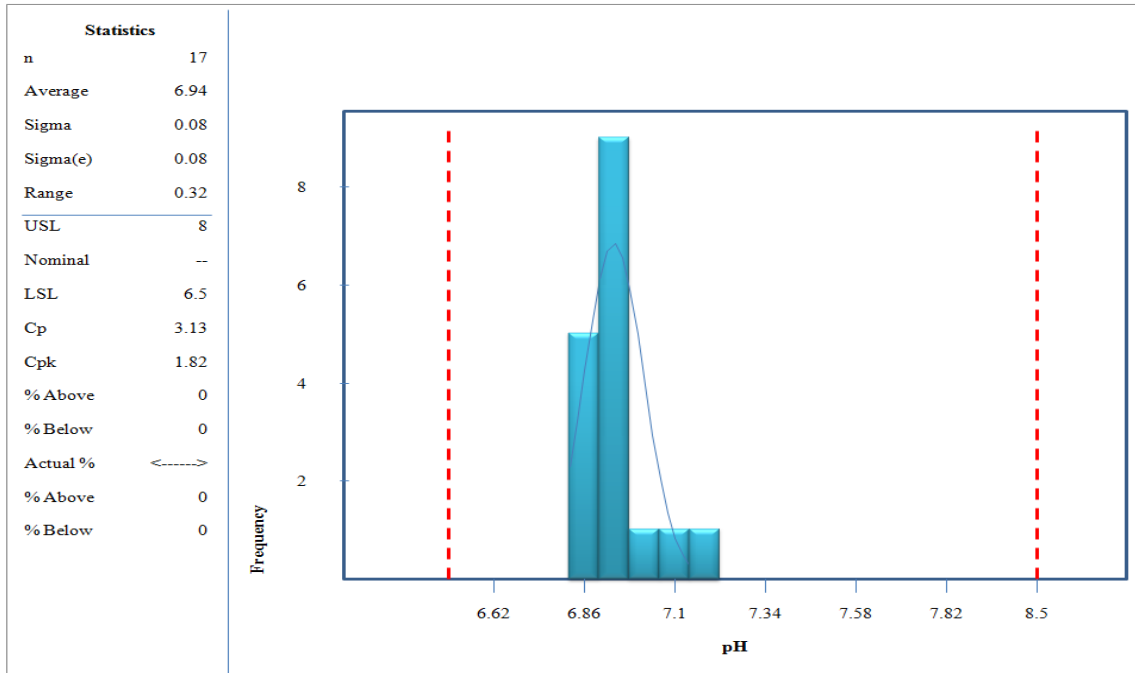
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento

Color	Descripción	Rango
	pH	[6,86 – 7,18]
	Promedio	6,94

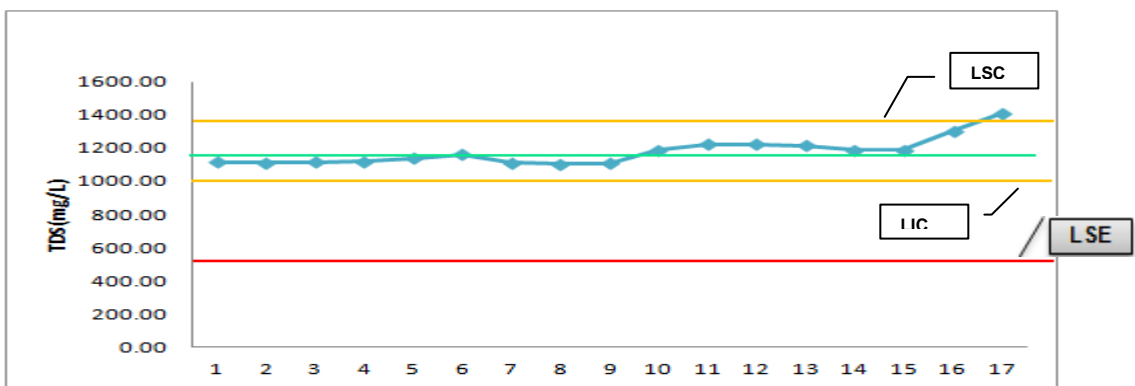
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Histograma del pH en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento



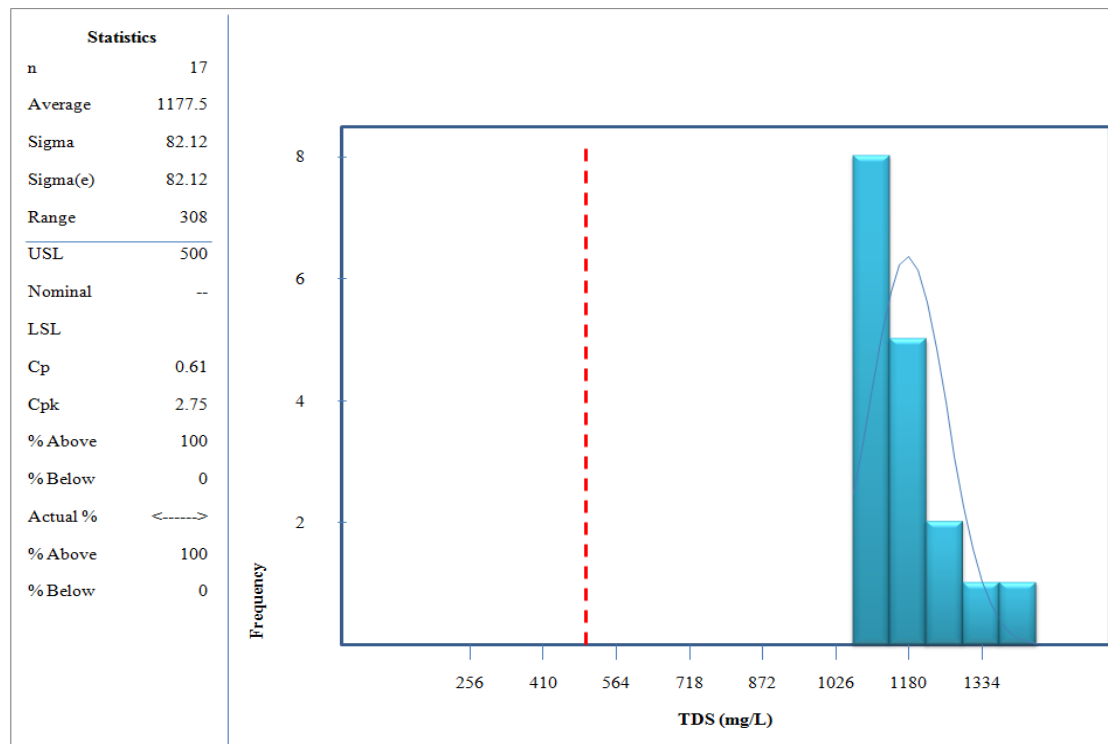
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	TDS (mg/L)	[1103,0 – 1411,0] mg/L
	Promedio	1177,53 mg/L

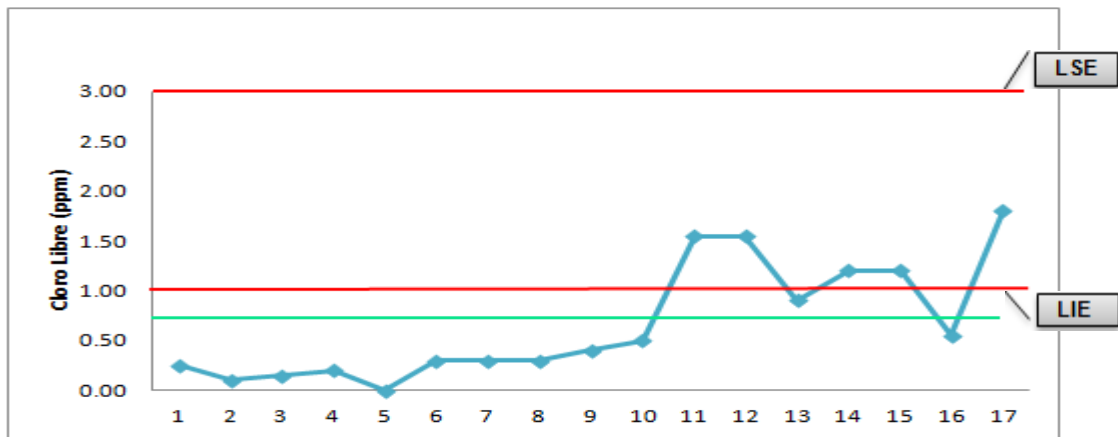
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



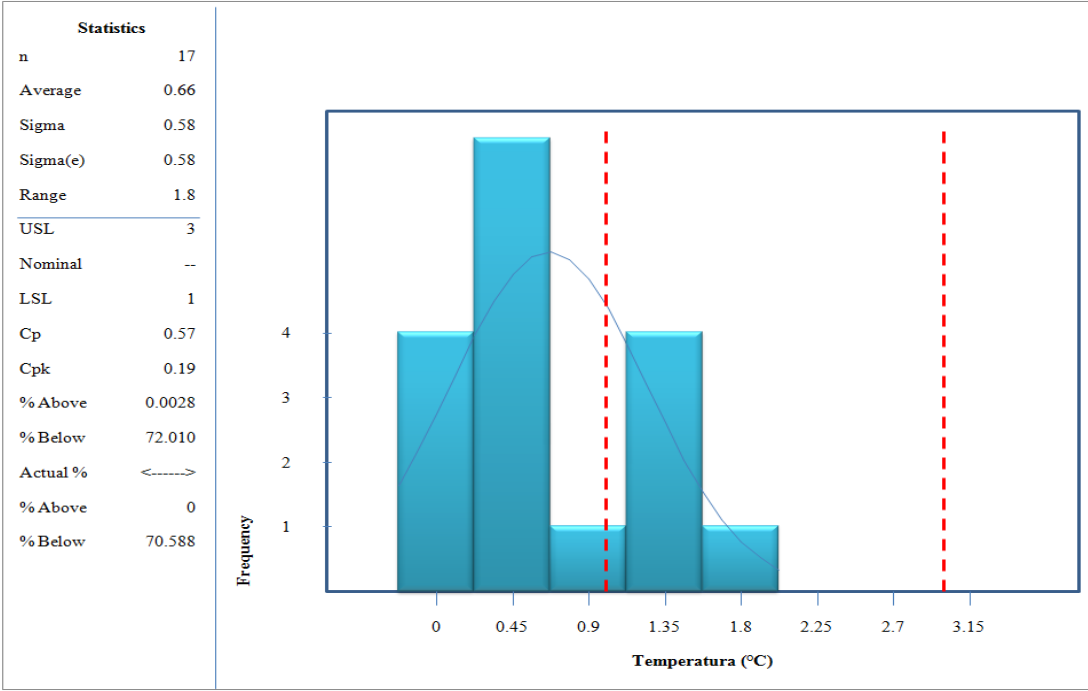
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	Cloro Libre (ppm)	[0,10 – 1,80] ppm
	Promedio	0,66 ppm

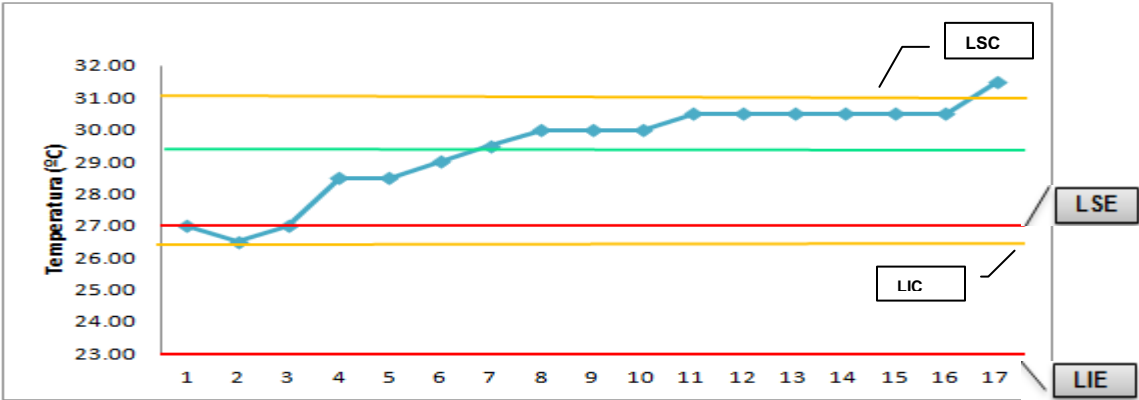
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento



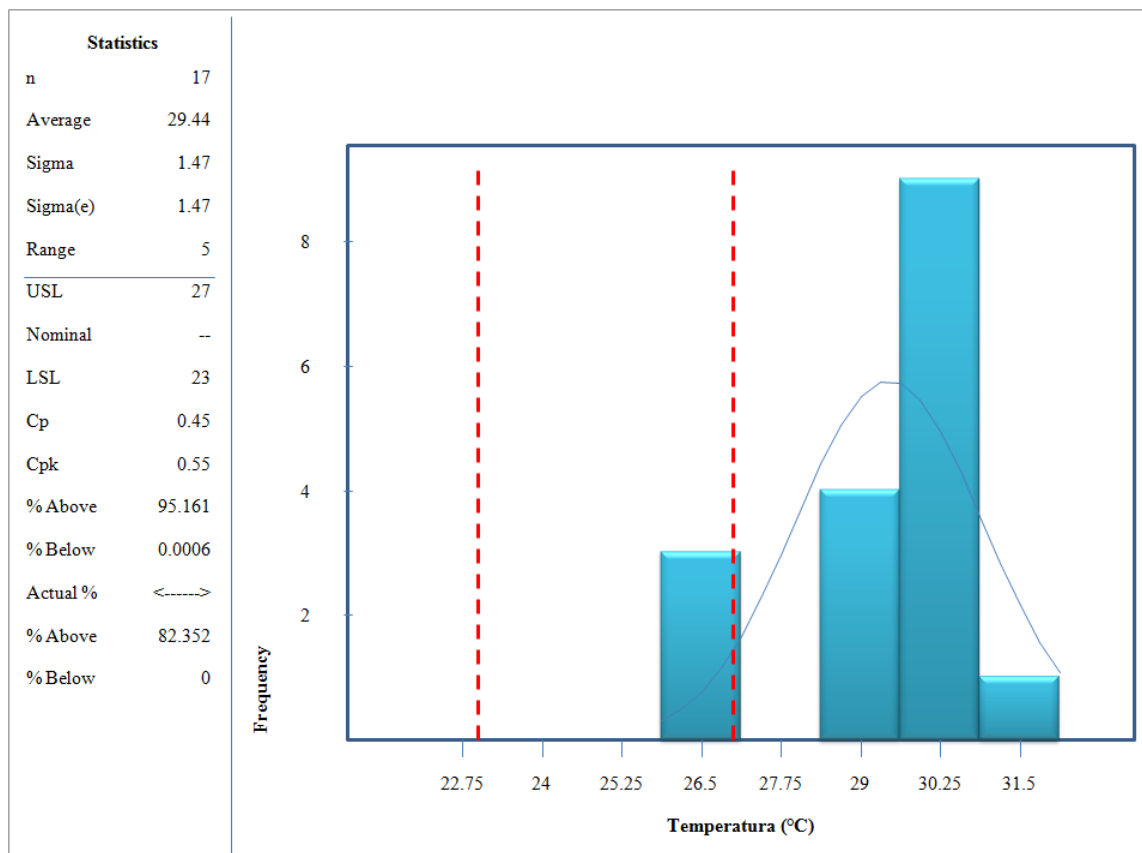
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[26,5 – 31,5] °C
	Promedio	29,44 °C

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento**

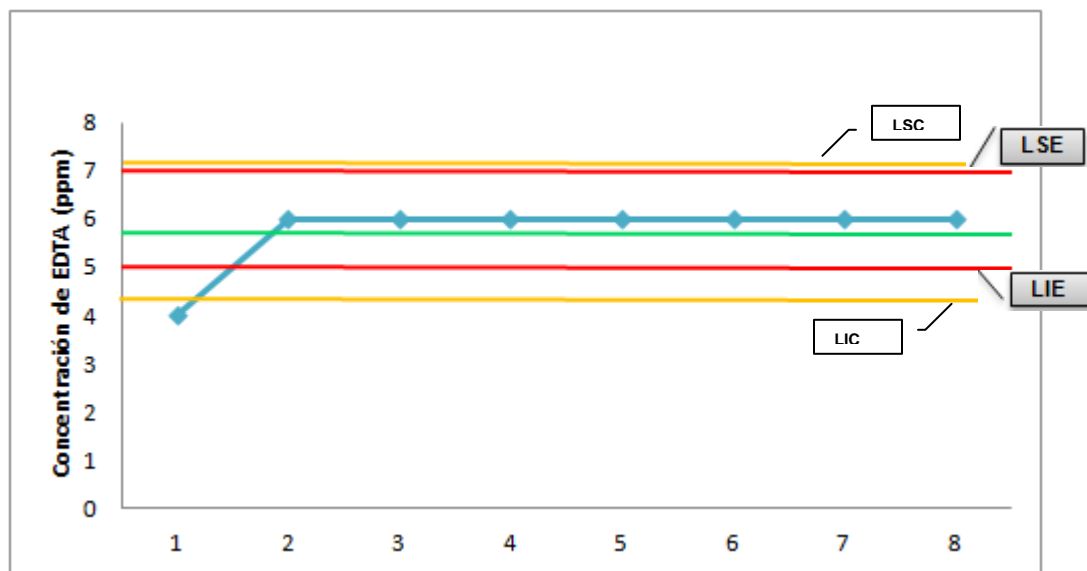


Fuente: elaboración propia.

✓ Caso 2

(Ver sección 3.6.2.2. para descripción de los casos)

Figura 41. **Gráfico de control de la concentración de agente acomplexante en tanque de lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Datos del gráfico de control de la concentración del agente acomplexante en tanque de lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Agente acomplexante (ppm)	[4 - 6] ppm
	Promedio	5,75 ppm

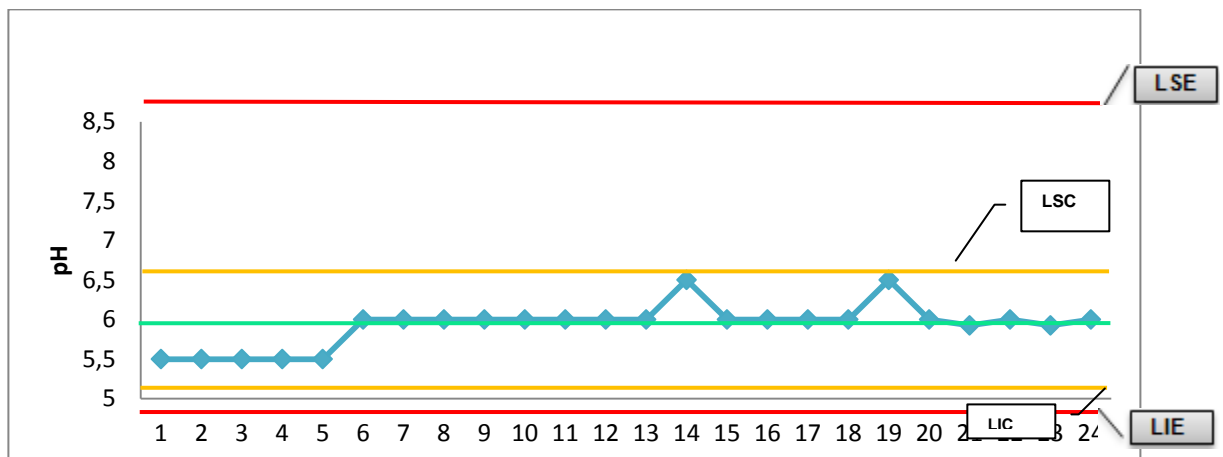
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Control estadístico de la concentración del agente
acomplejante**

Herramienta estadística	Valor
Promedio	5,75
Desviación estándar	0,71
Límite superior de control (LSC)	7,16
Límite inferior de control (LIC)	4,34
Límite superior de especificación (LSE)	7,00
Límite inferior de especificación (LIE)	5,00
Cp	0,47
Cp _K	0,35

Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de
chorros de enjuague en lavadora**



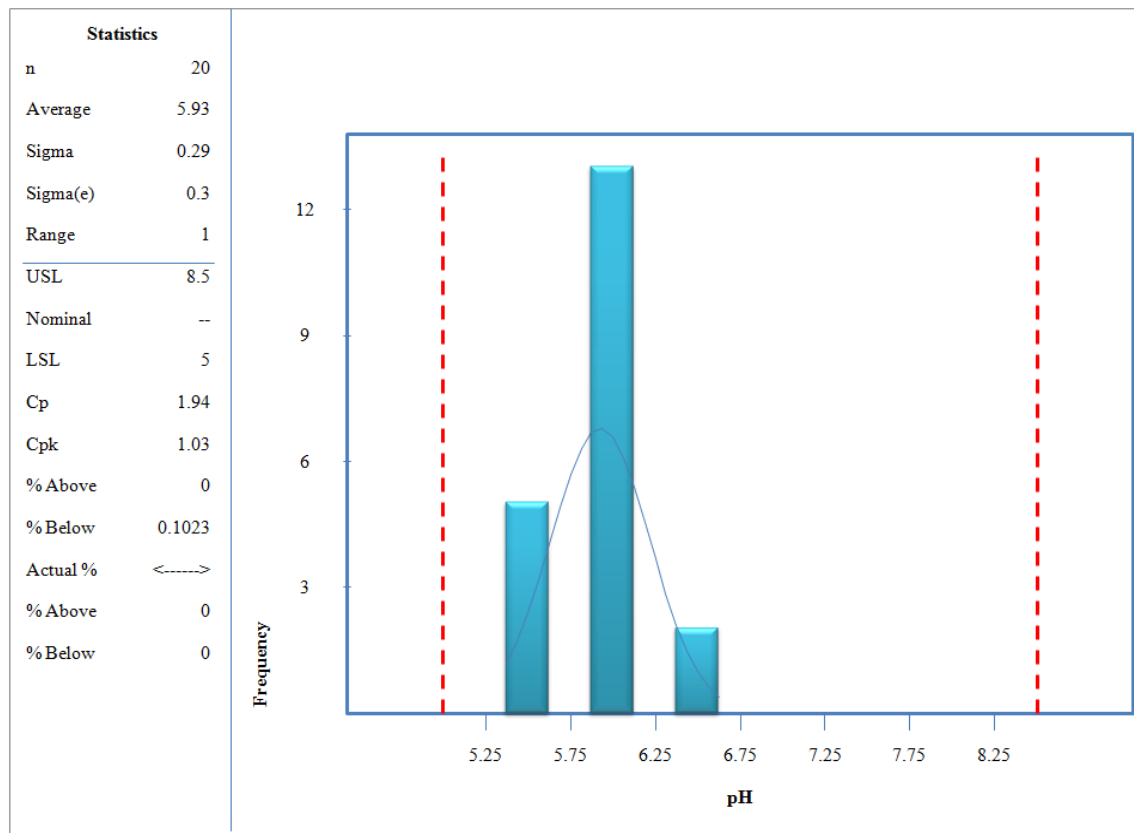
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	pH	[5,5 - 6,5]
	Promedio	5,93

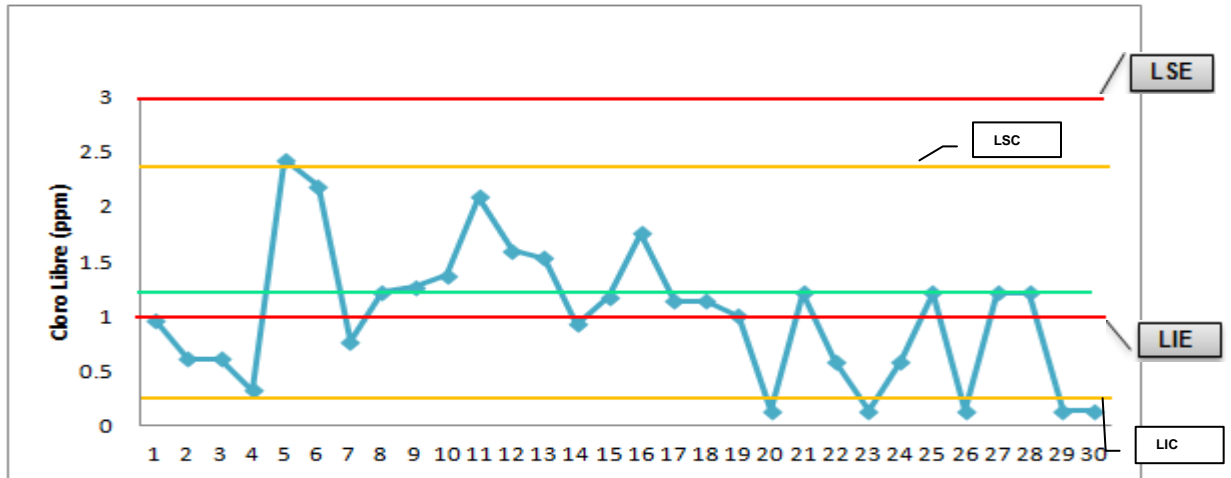
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



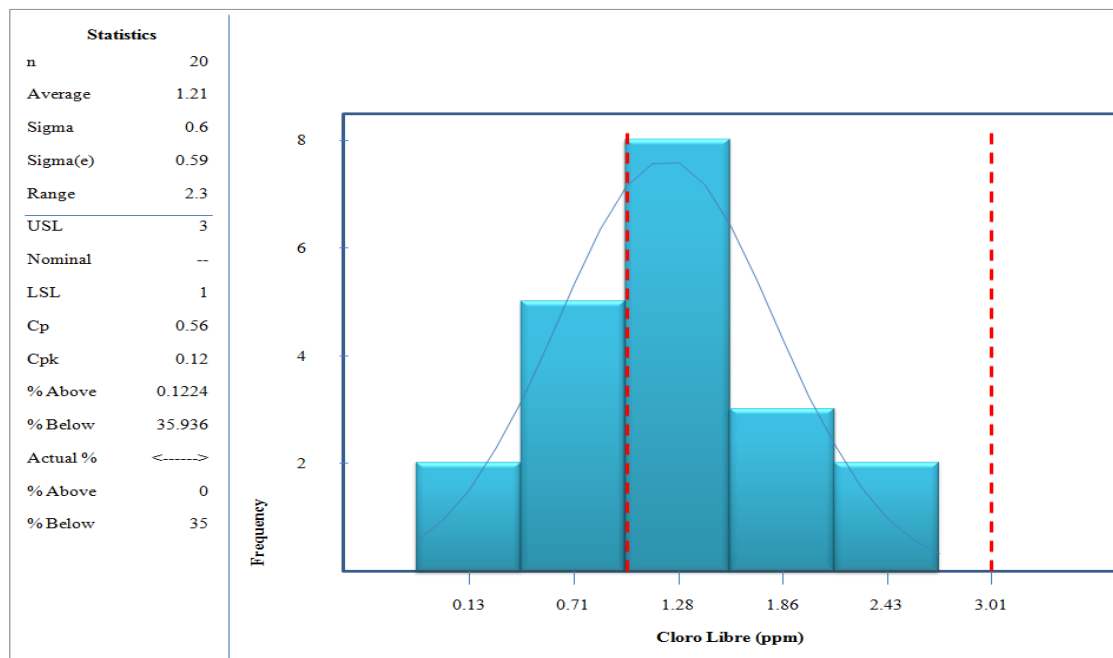
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,13 – 2,43] ppm
	Promedio	1,21 ppm

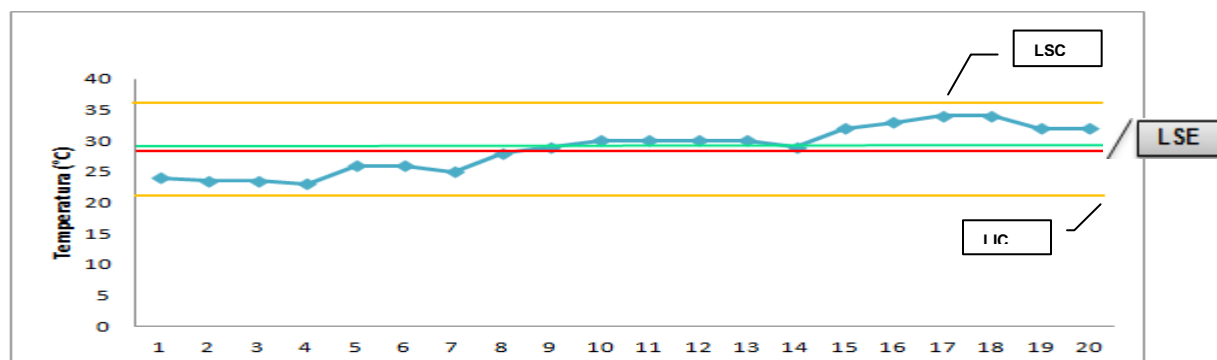
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



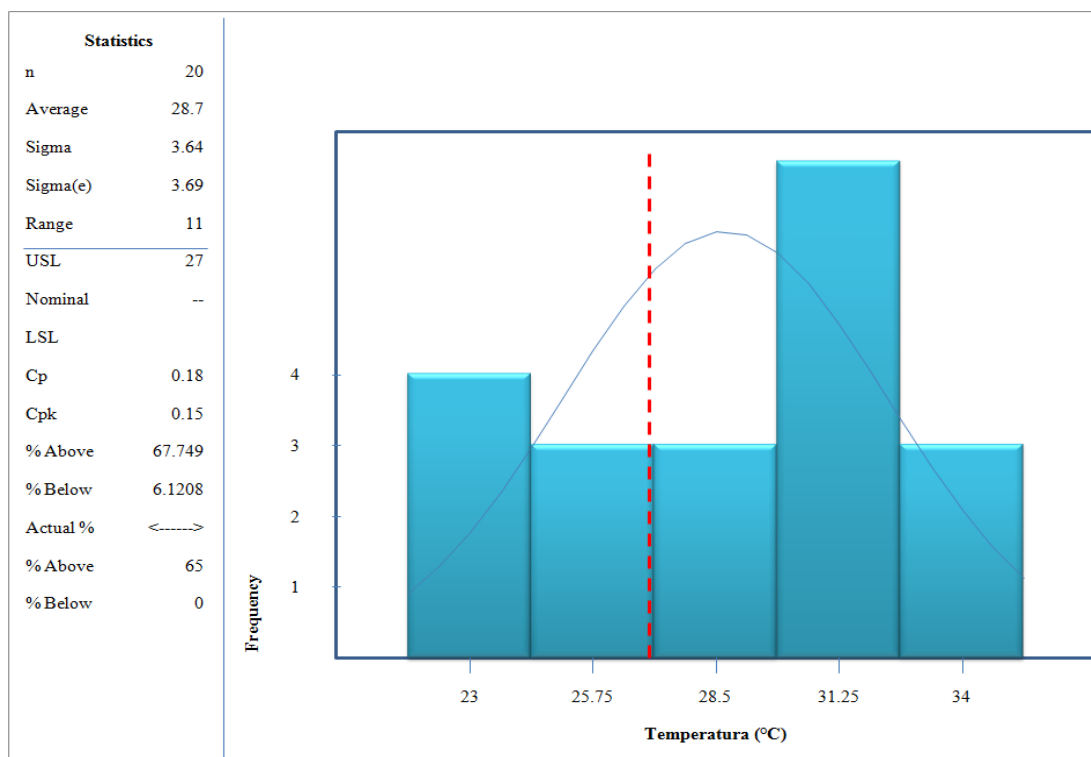
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[23,5 - 34] °C
	Promedio	28,70 °C

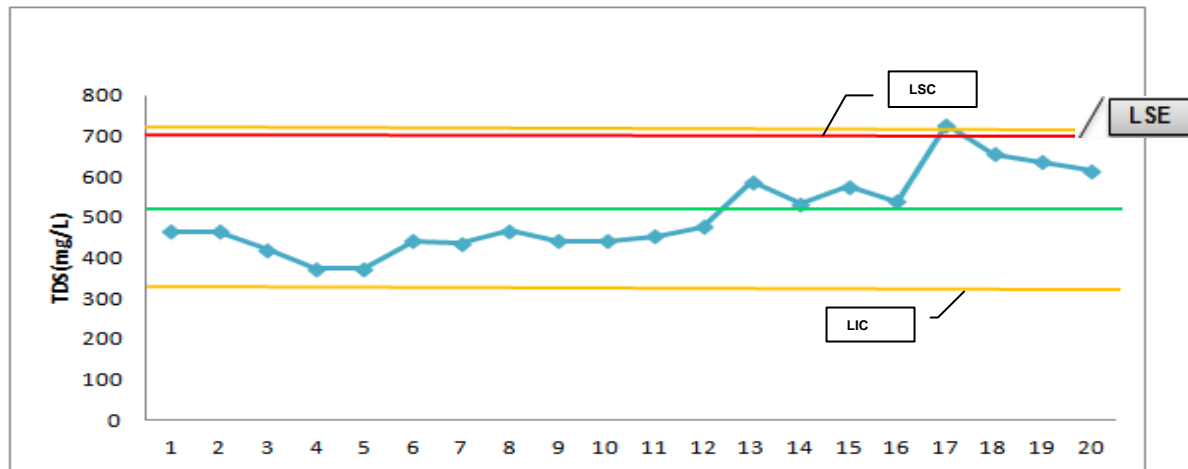
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación**



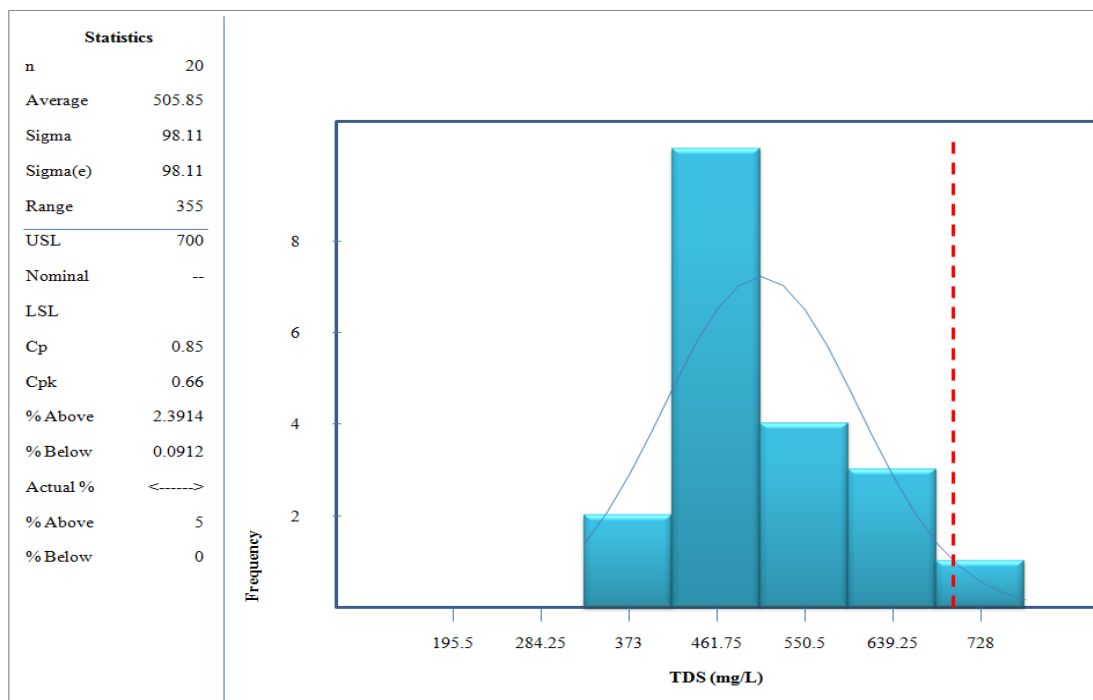
Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Sólidos totales disueltos (mg/L)	[373 - 728] mg/L
	Promedio	505,85 mg/L

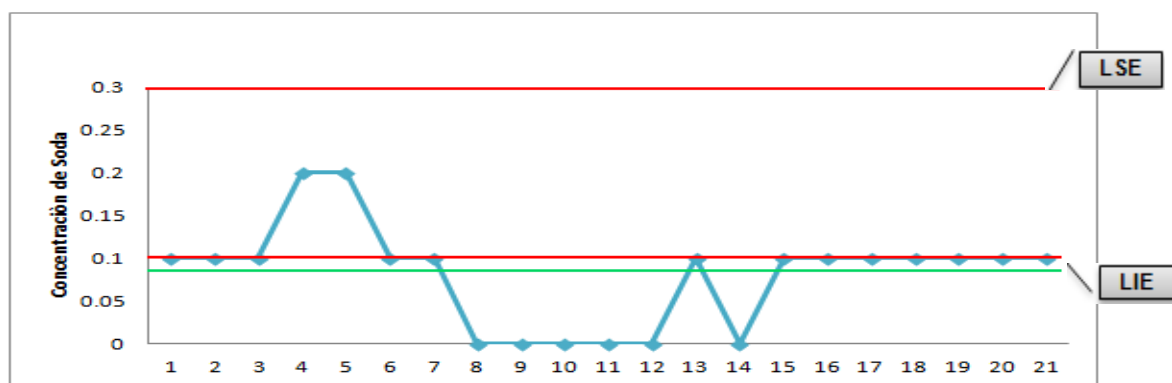
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. Histograma de TDS del agua en tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Gráfico de control de concentración de soda en tanque de captación



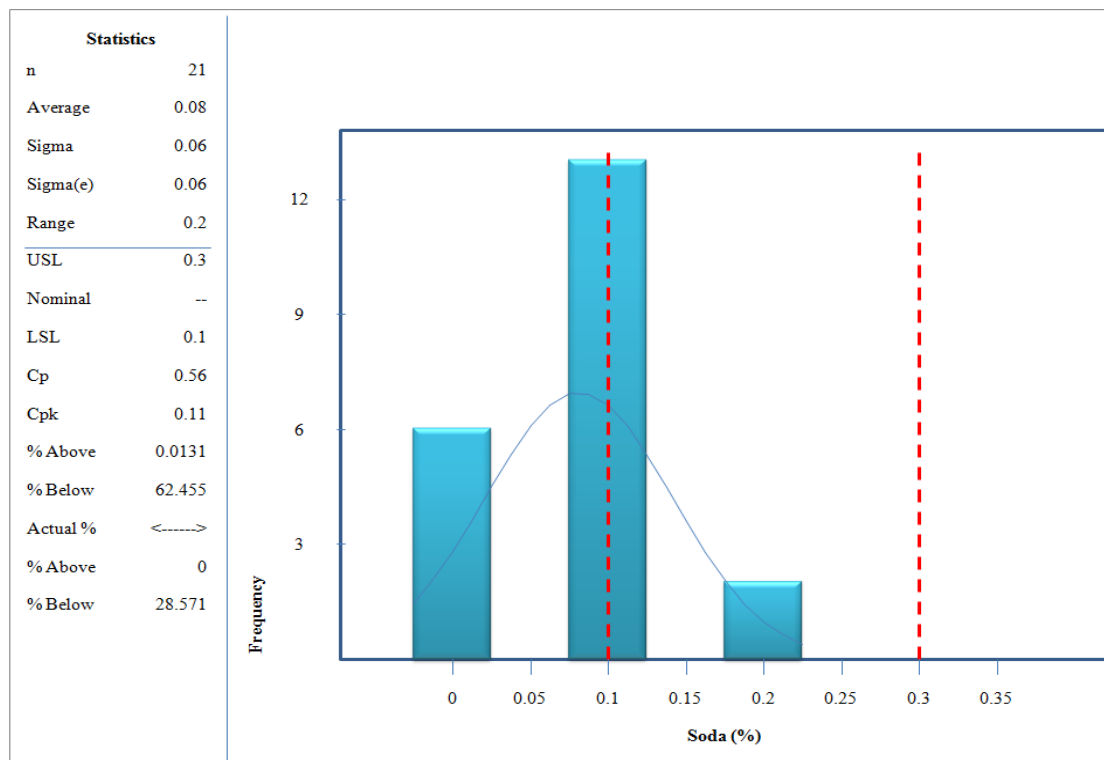
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Datos del gráfico de control de concentración de soda en el tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Concentración de soda (%)	[0 – 0,2] %
	Promedio	0,08 %

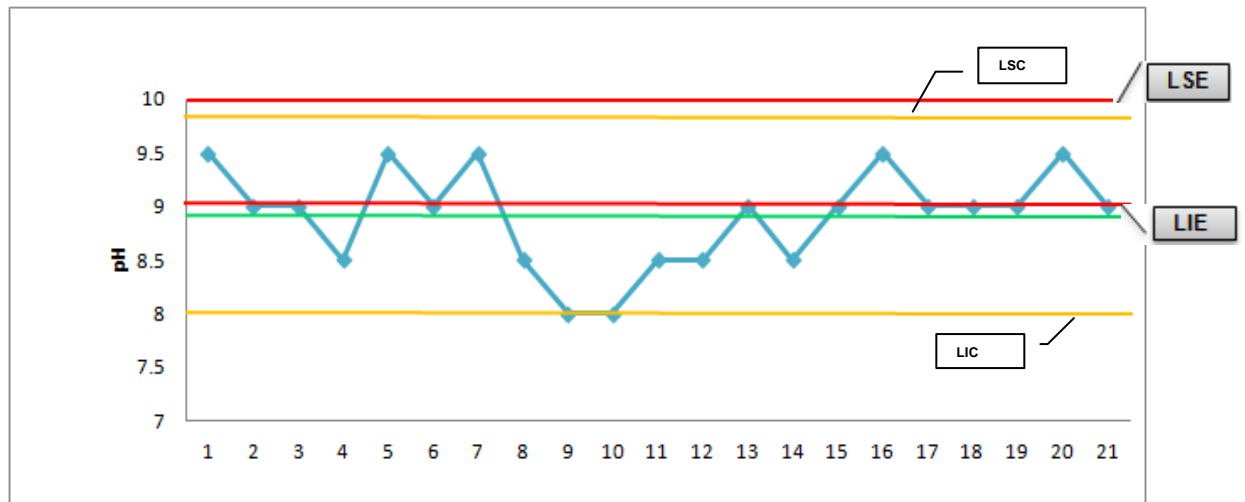
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Histograma de concentración de soda en el tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Gráfico de control del pH en el tanque de captación



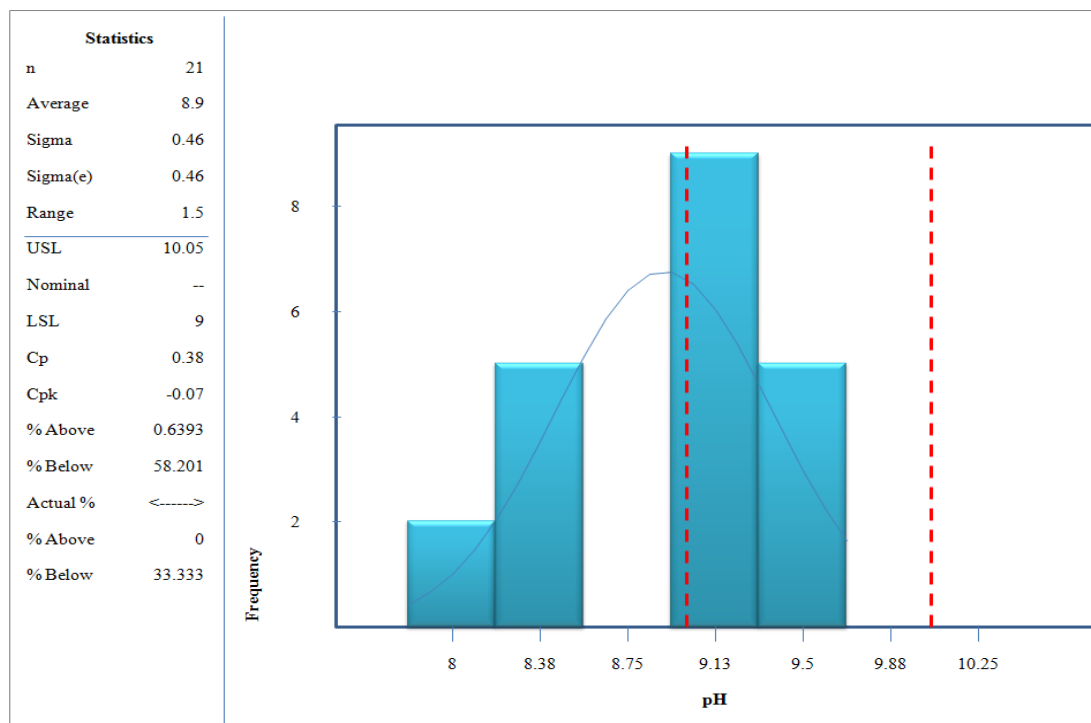
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación

Color	Descripción	Rango
	pH	[8,5 – 9,5]
	Promedio	8,90

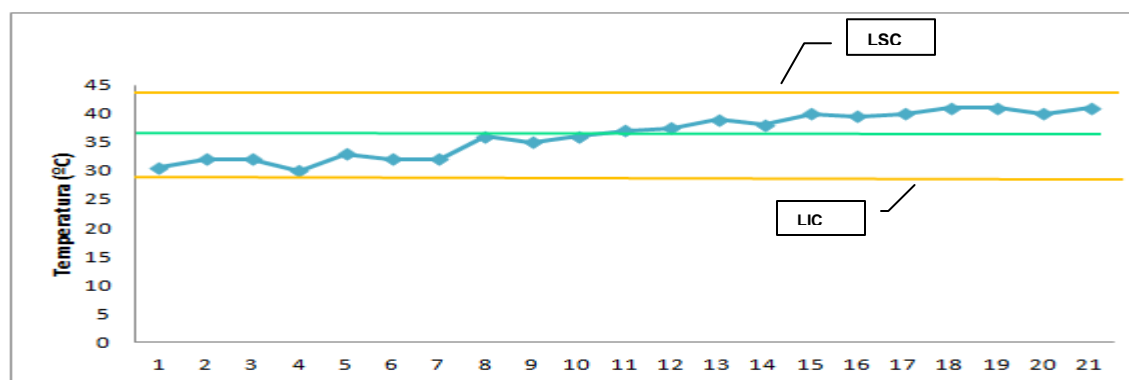
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Histograma del pH en el tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 54. Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación



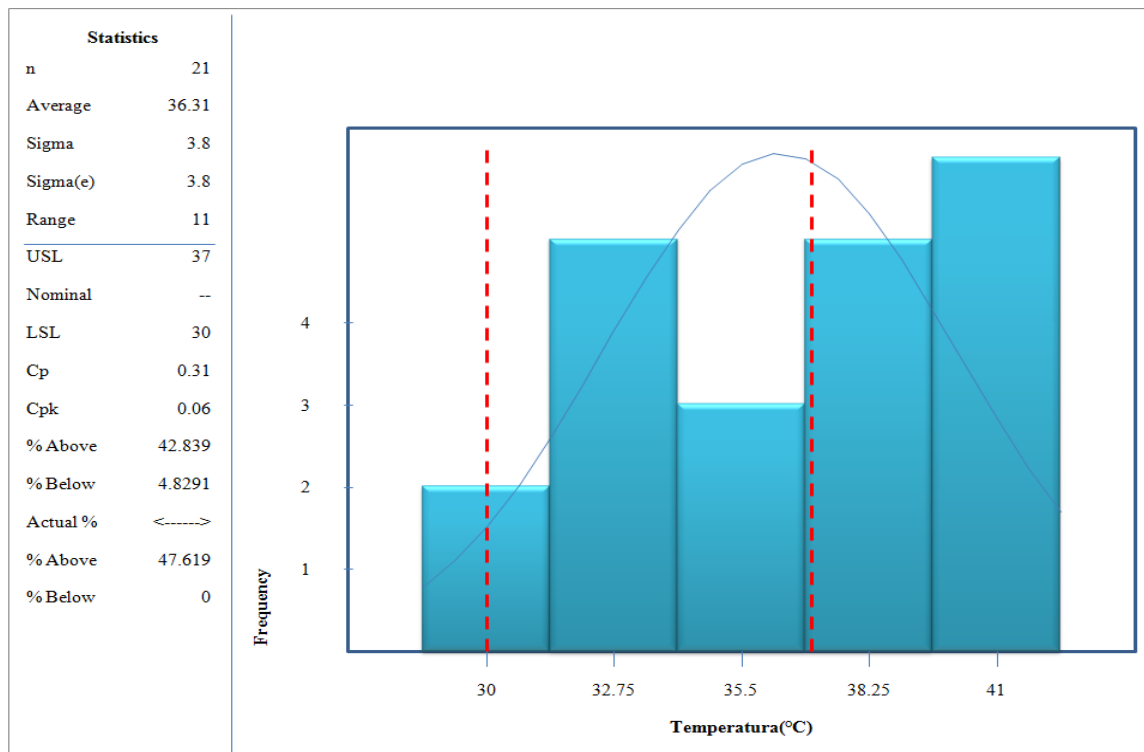
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[30 - 41] °C
	Promedio	36,31°C

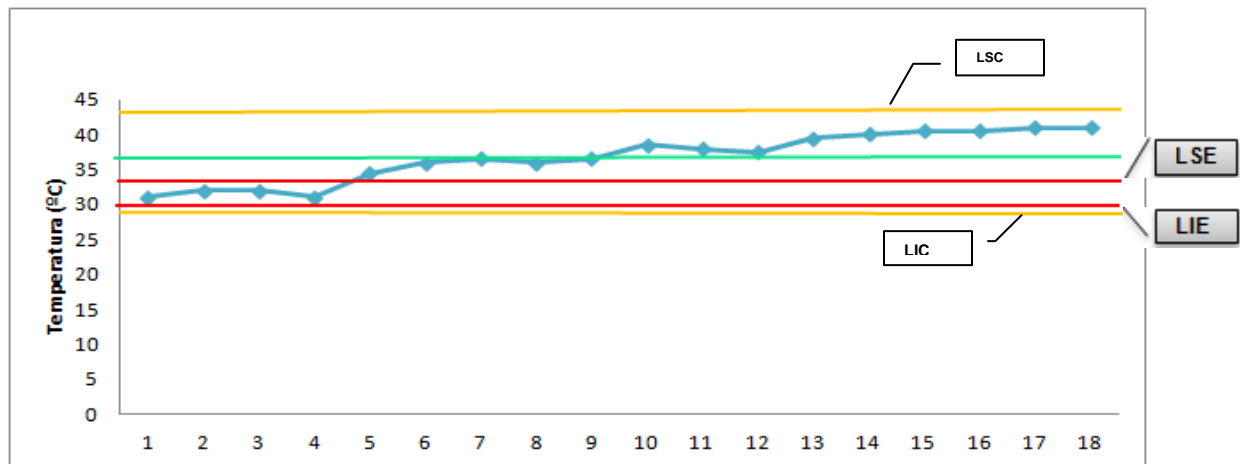
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Histograma de la temperatura en el tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**



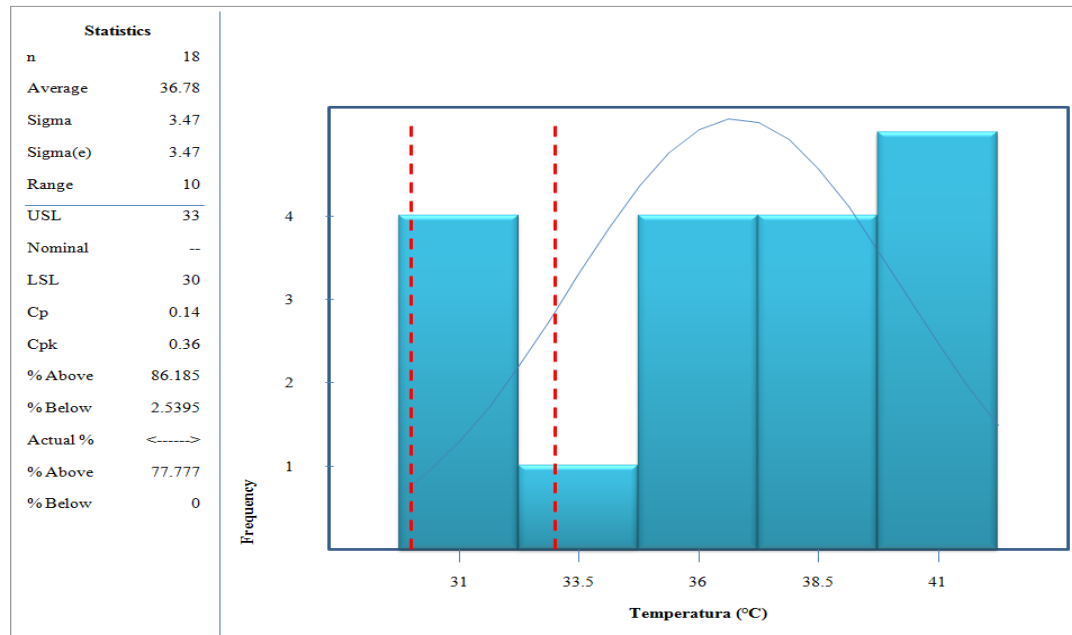
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[31,0 - 41,0] °C
	Promedio	36,78°C

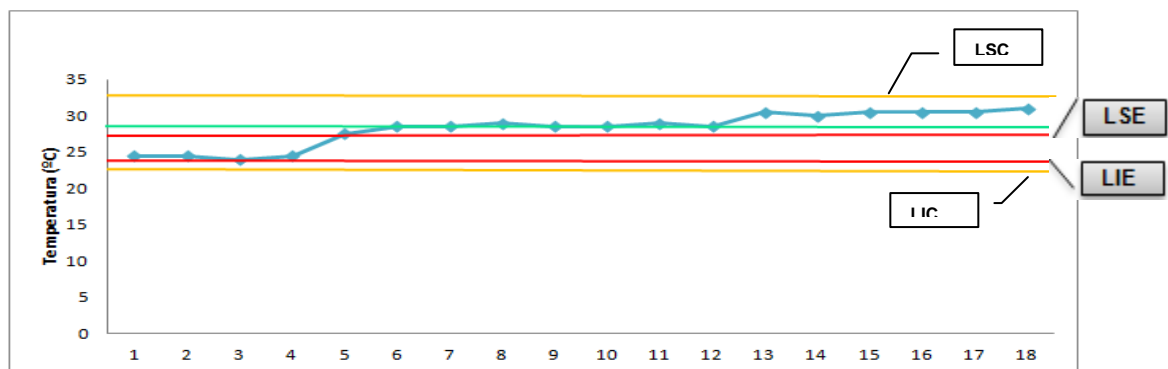
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



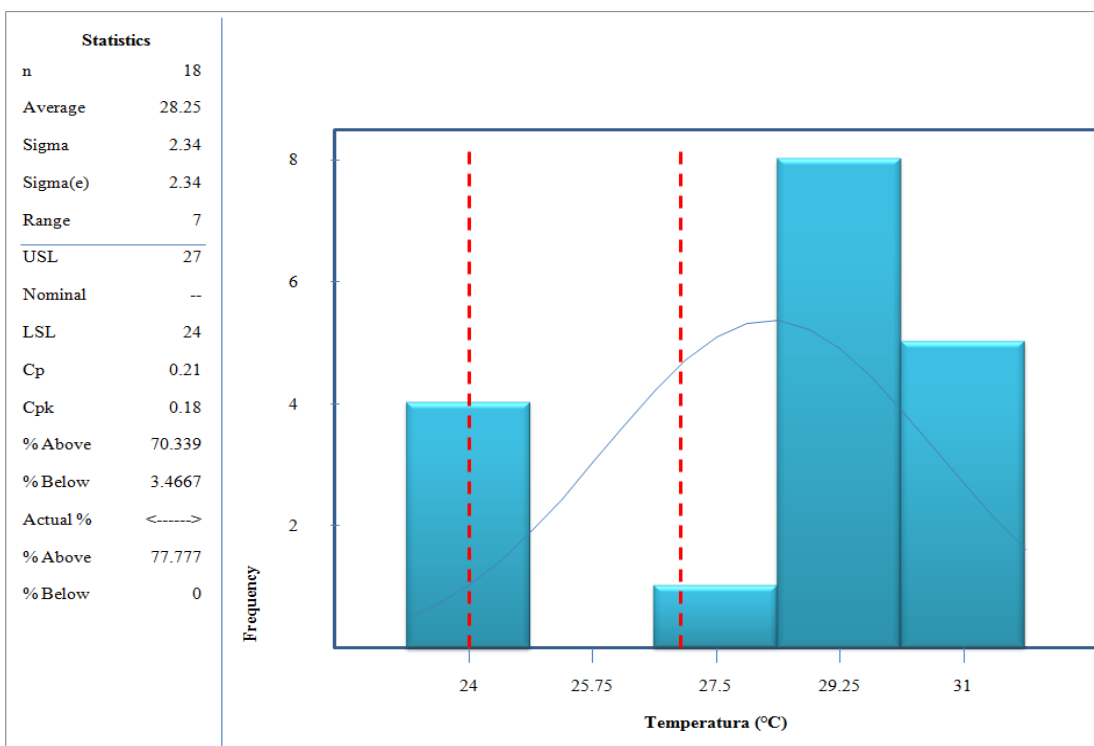
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[24,0 – 31,0] °C
	Promedio	28,25 °C

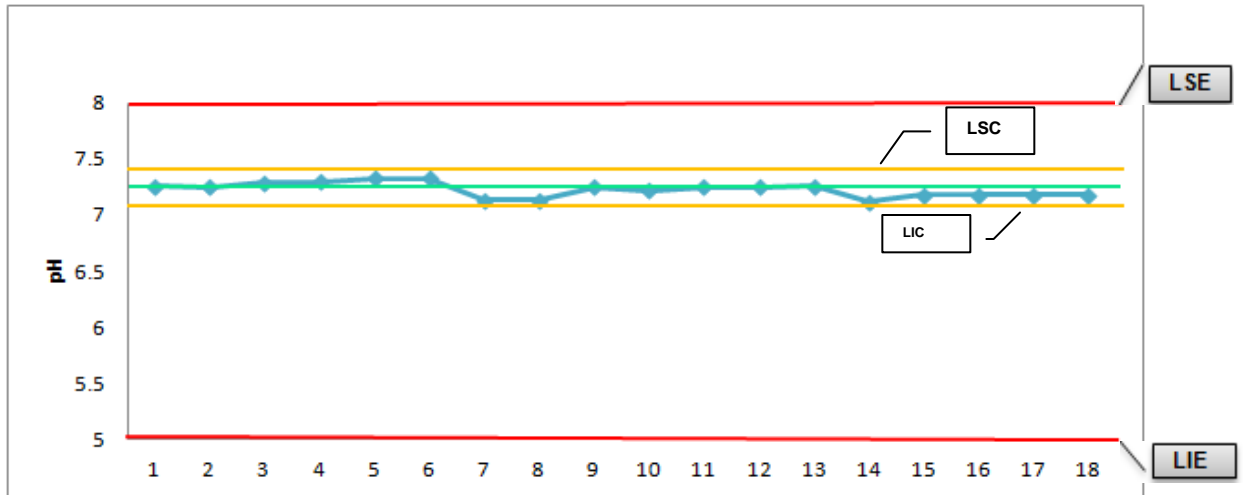
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento**



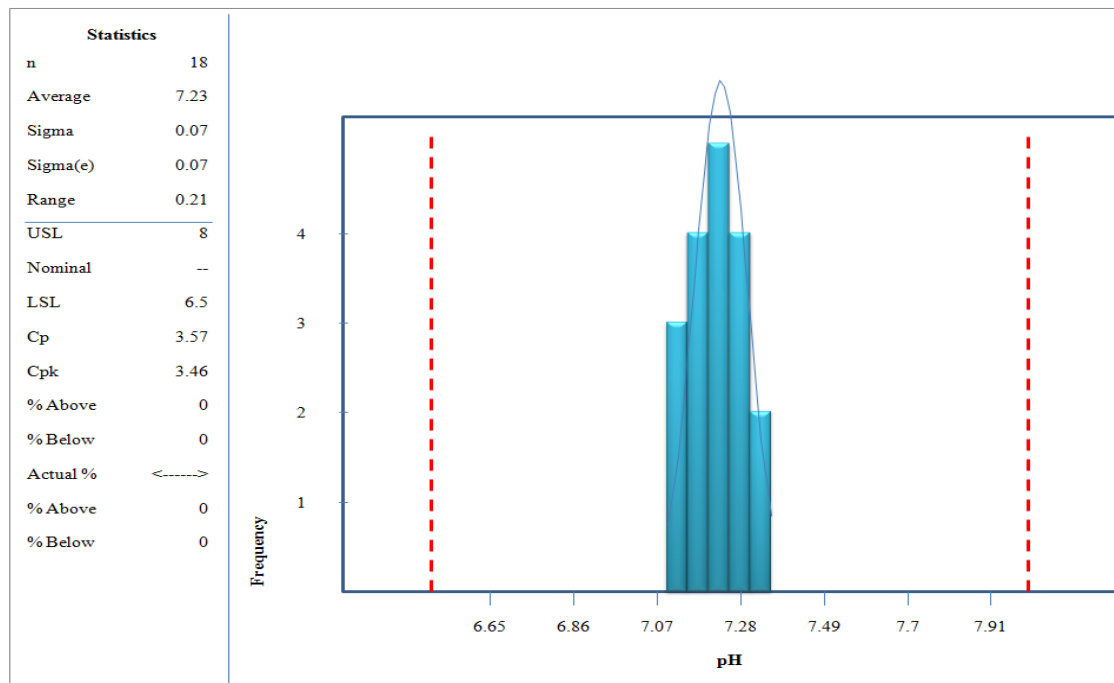
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento**

color	Descripción	Rango
	pH	[7,13 – 7,29]
	Promedio	7,23

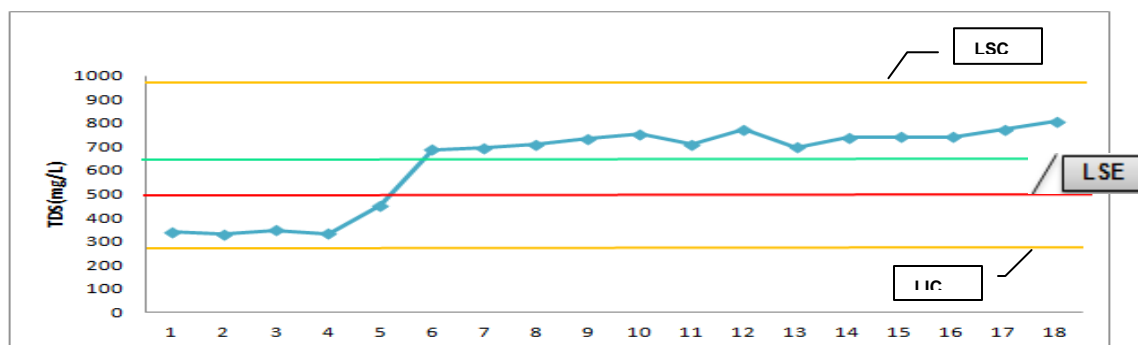
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Histograma del pH en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 62. Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento



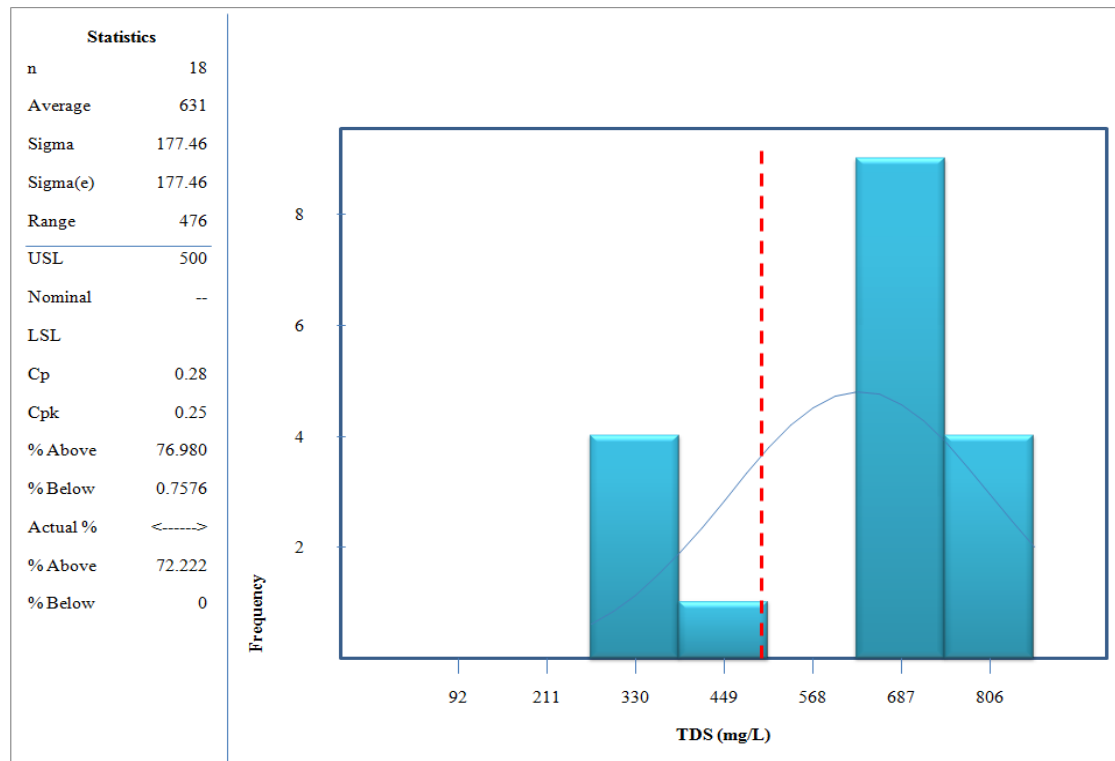
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. **Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	TDS (mg/L)	[330,0 – 806,0] mg/L
	Promedio	631,0 mg/L

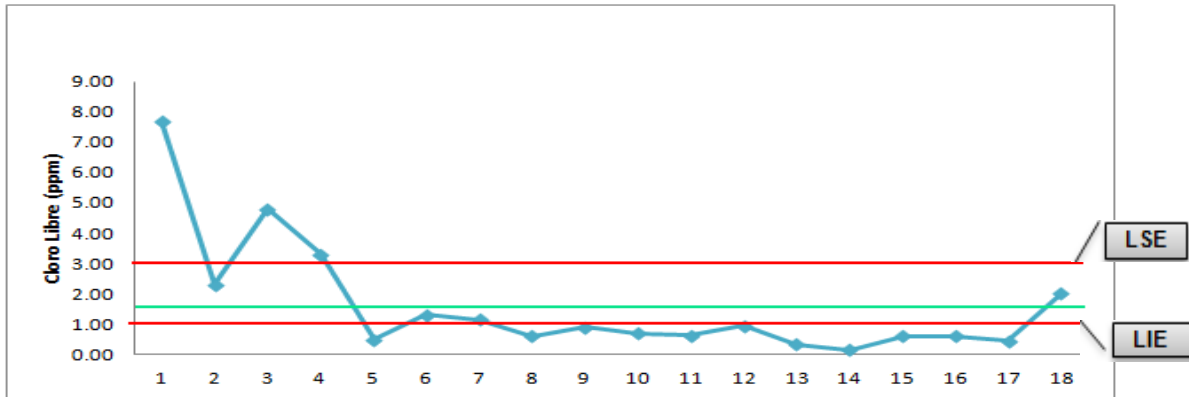
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



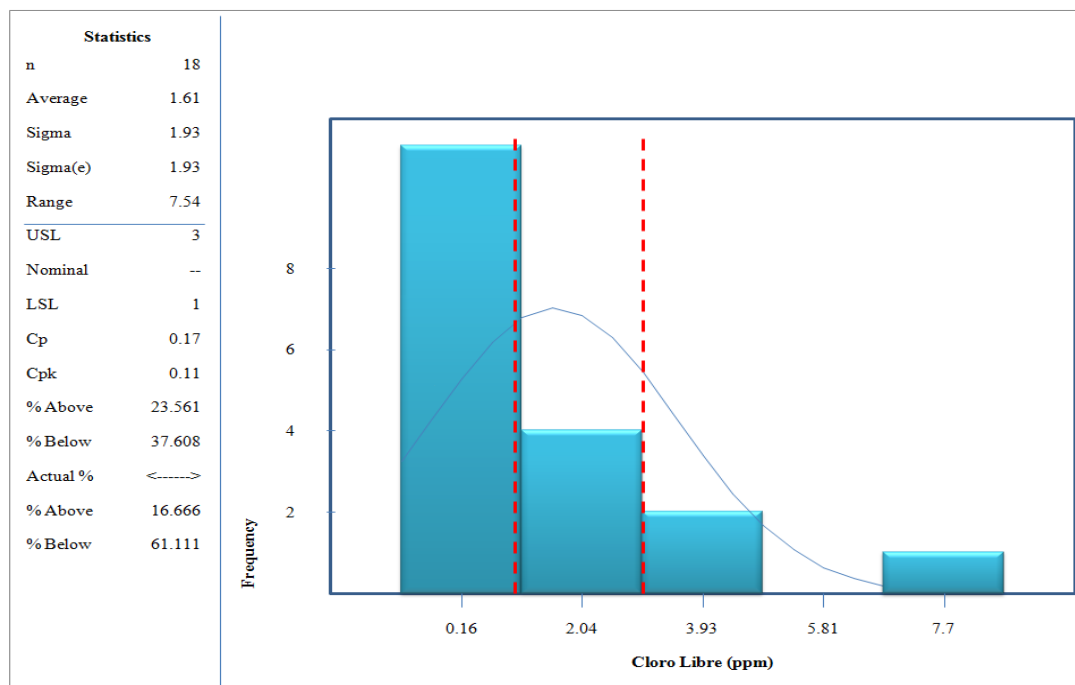
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,16 - 7,70] ppm
	Promedio	1,61 ppm

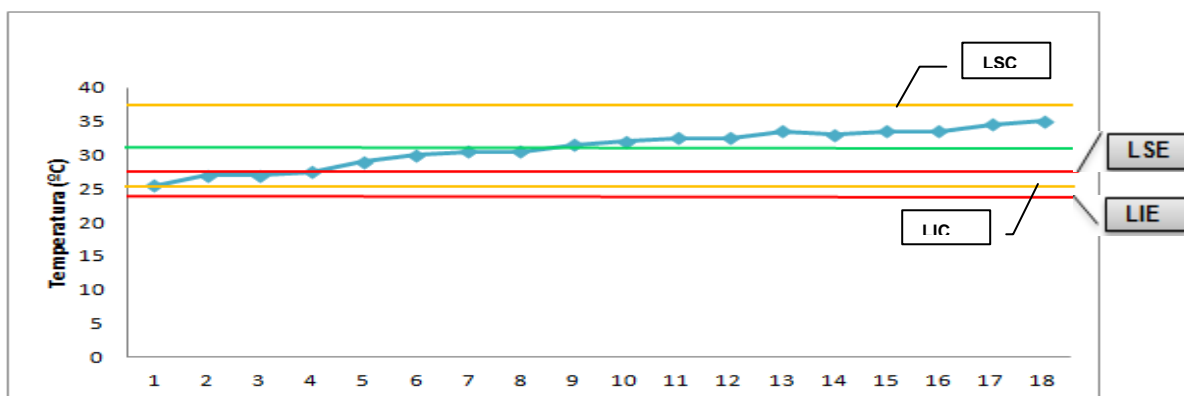
Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 66. **Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento**



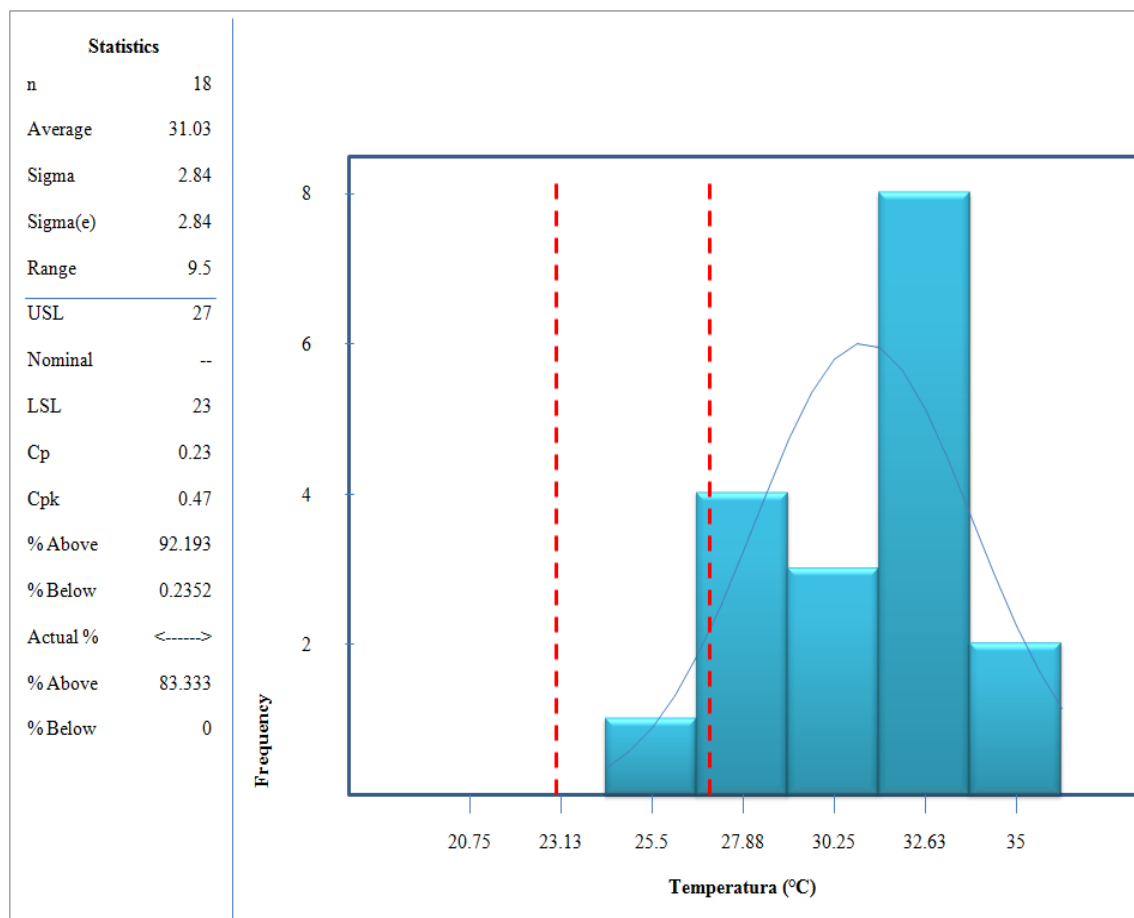
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[25,5 – 35,0] °C
	Promedio	25,36 °C

Fuente: elaboración propia.

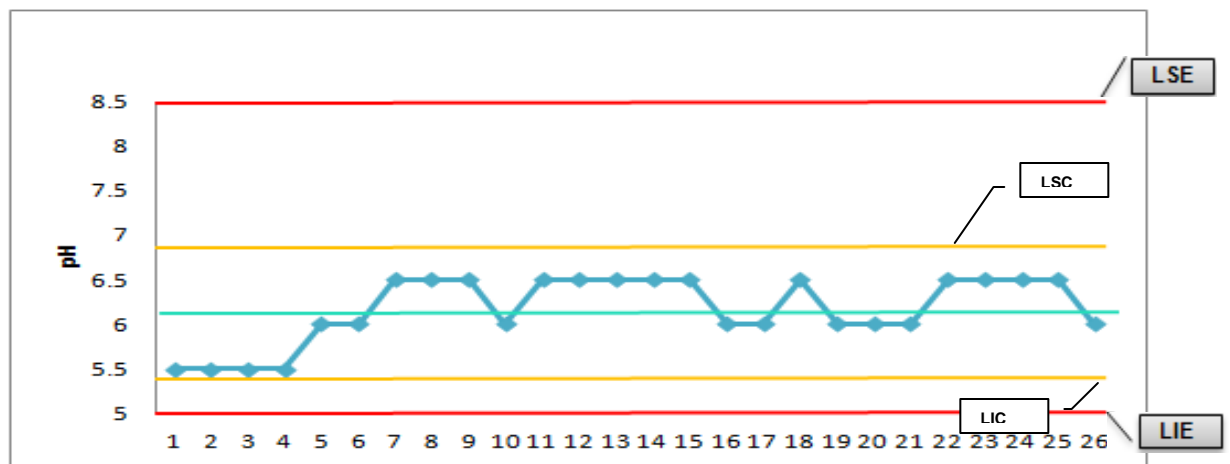
Figura 67. Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

- ✓ **Caso 3**
(Ver sección 3.6.2.2. para descripción de los casos)

Figura 68. Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



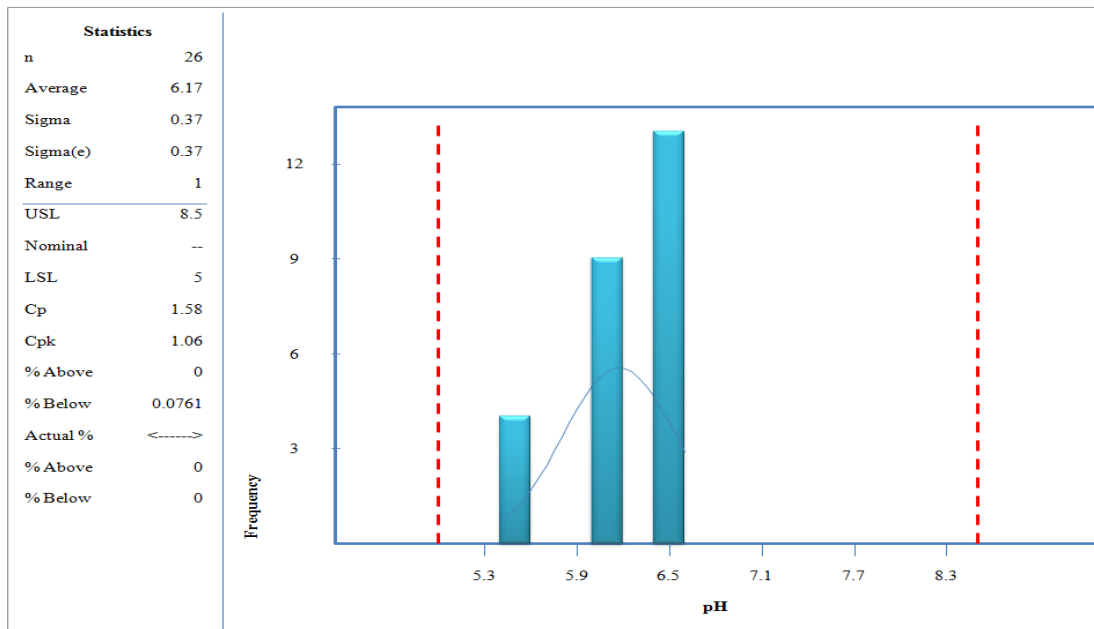
Fuente: elaboración propia.

Tabla L. Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	pH	[5,5 – 6,5]
	Promedio	6,17

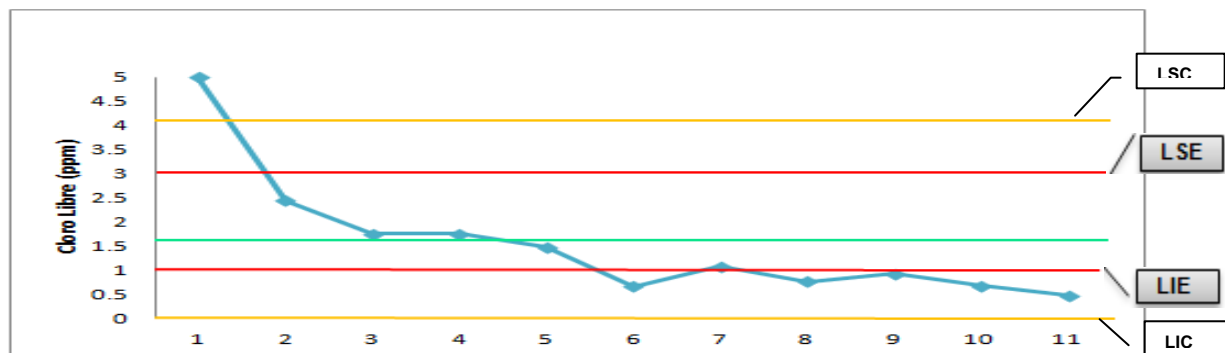
Fuente: elaboración propia.

Figura 69. **Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 70. **Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



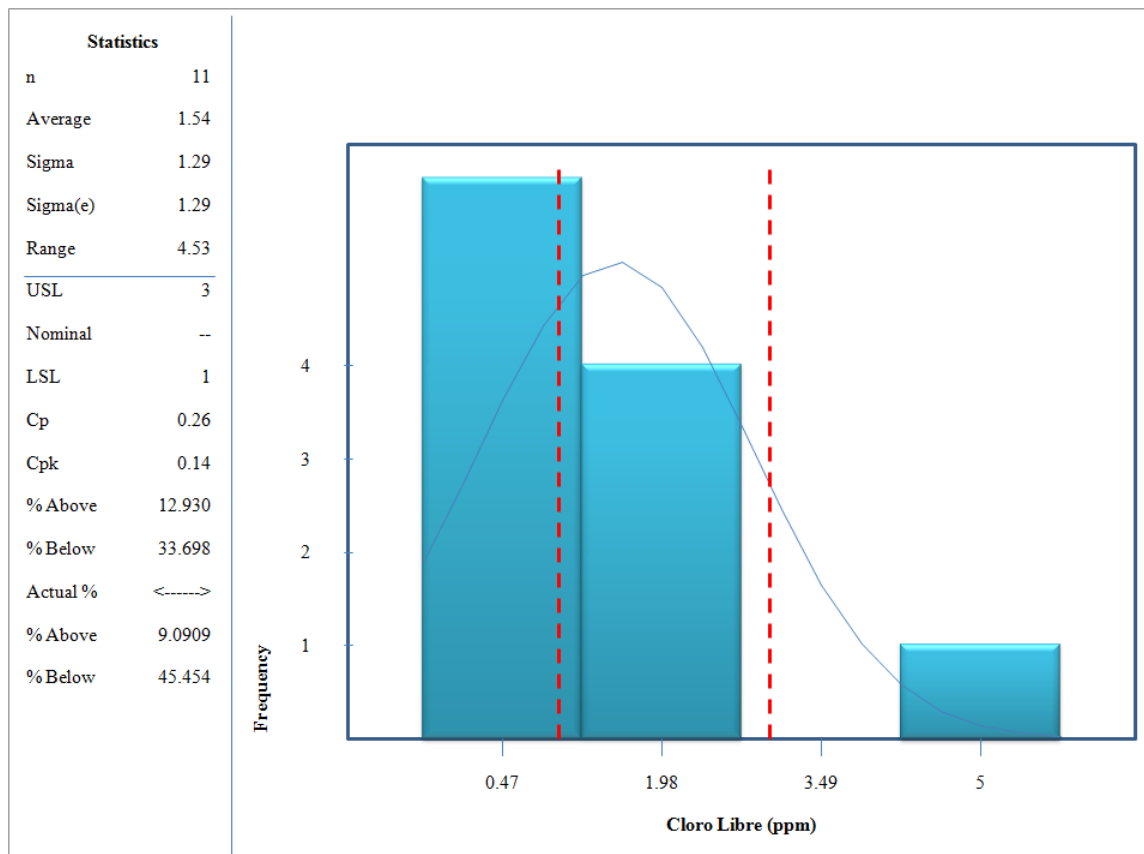
Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,47 – 5,0] ppm
	Promedio	1,54 ppm

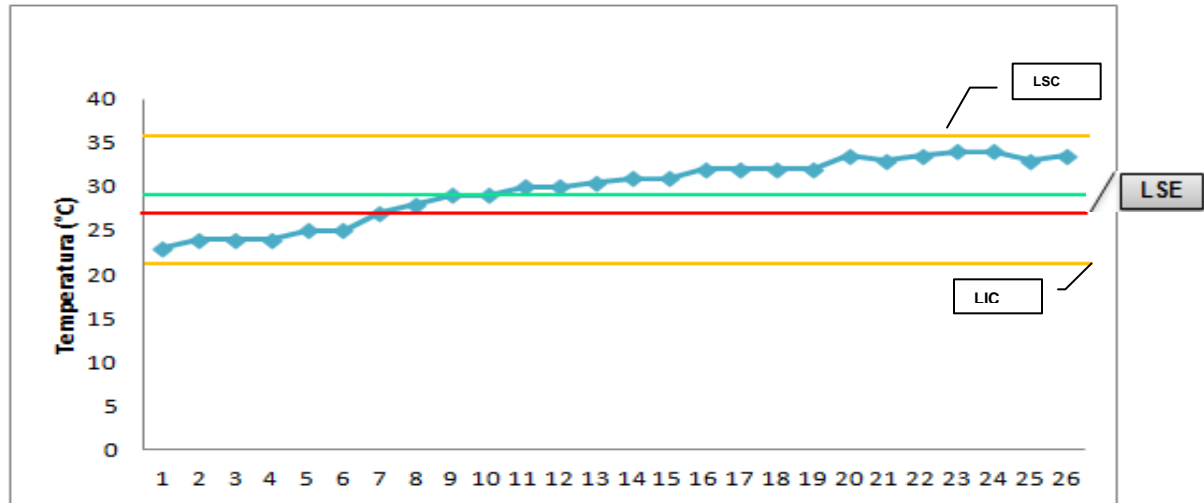
Fuente: elaboración propia.

Figura 71. **Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 72. **Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



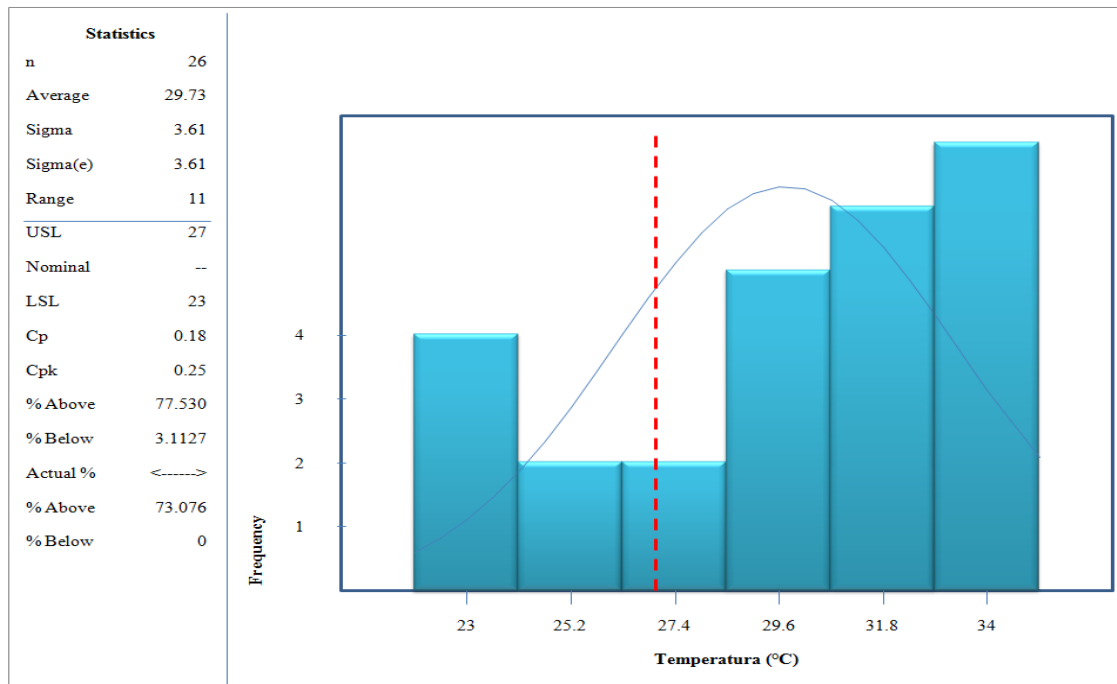
Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[23,05 - 34] °C
	Promedio	29,73 °C

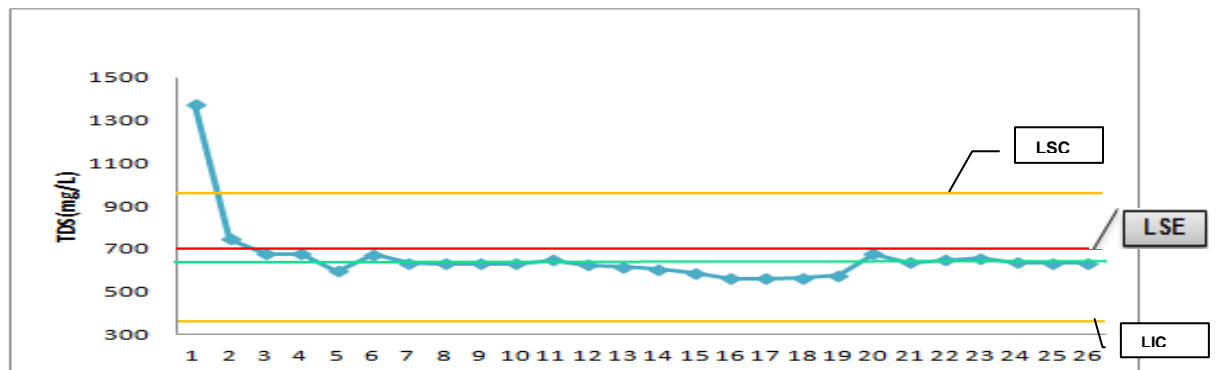
Fuente: elaboración propia.

Figura 73. **Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 74. **Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación**



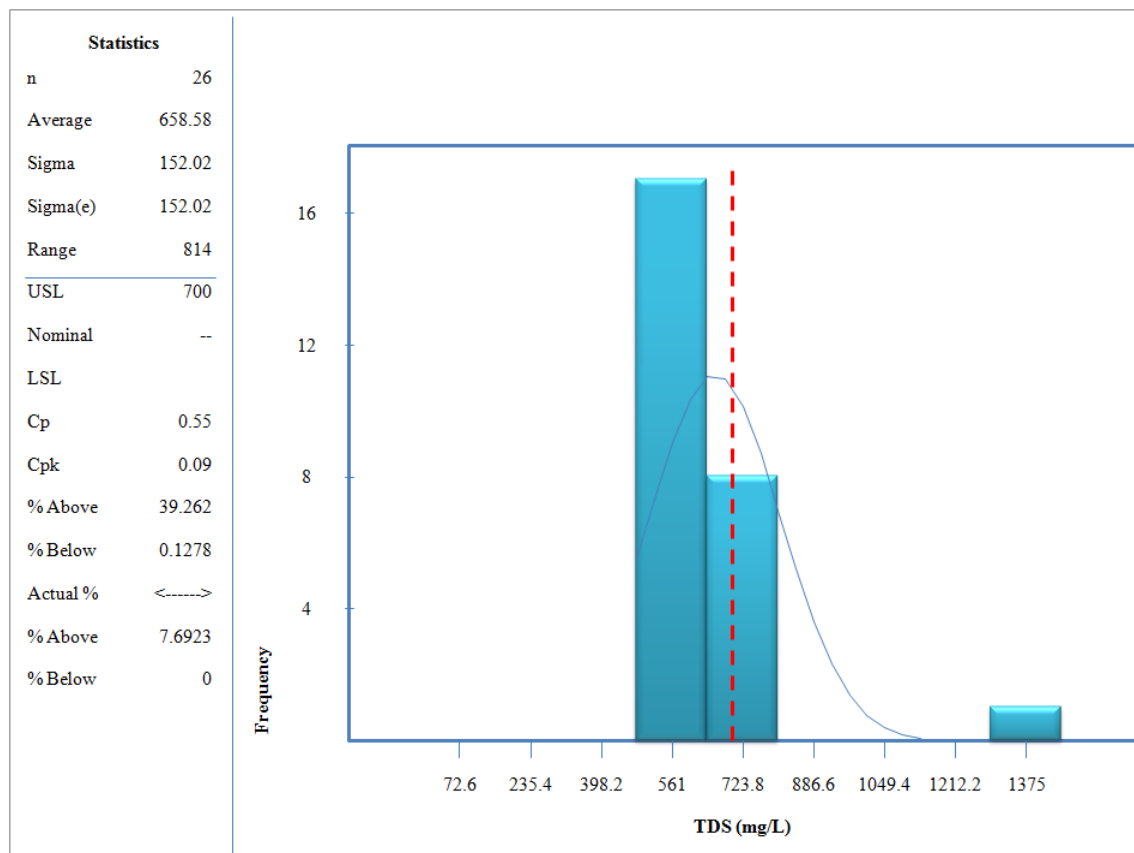
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación

Color	Descripción	Rango
	Sólidos totales disueltos (mg/L)	[561 - 1375] mg/L
	Promedio	658,58 mg/L

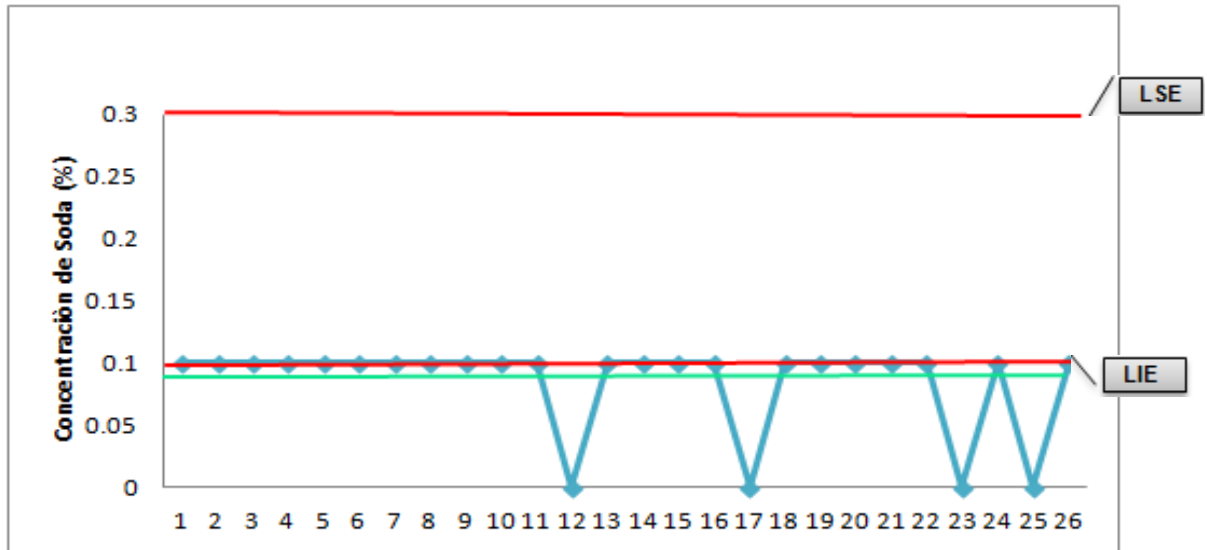
Fuente: elaboración propia.

Figura 75. Histograma de TDS del agua en tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 76. **Gráfico de control de concentración de soda en tanque de captación**



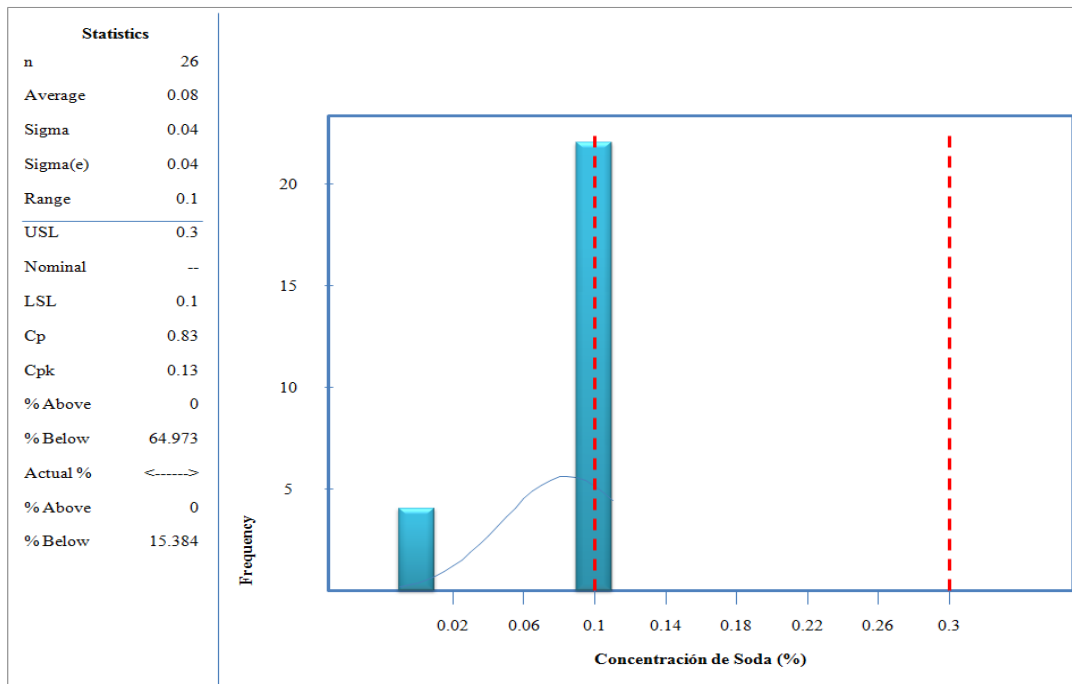
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Datos del gráfico de control de concentración de soda en el tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Concentración de soda (%)	[0 – 0,1] %
	Promedio	0,08 %

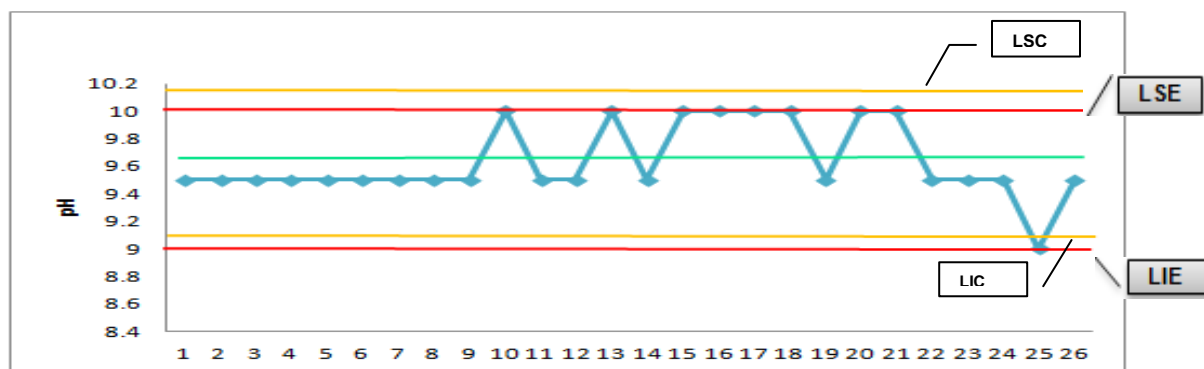
Fuente: elaboración propia.

Figura 77. **Histograma de concentración de soda en el tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 78. **Gráfico de control del pH en el tanque de captación**



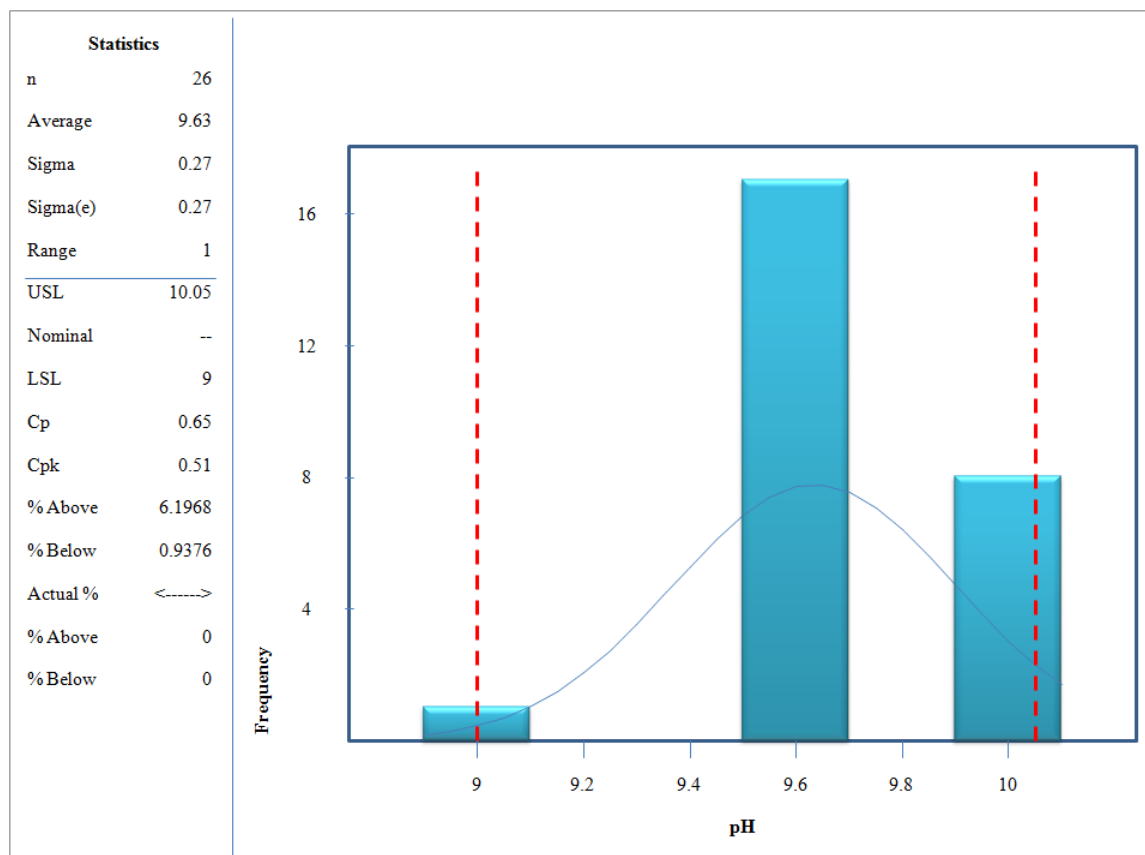
Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación

Color	Descripción	Rango
	pH	[9,0 – 10,0]
	Promedio	9,63

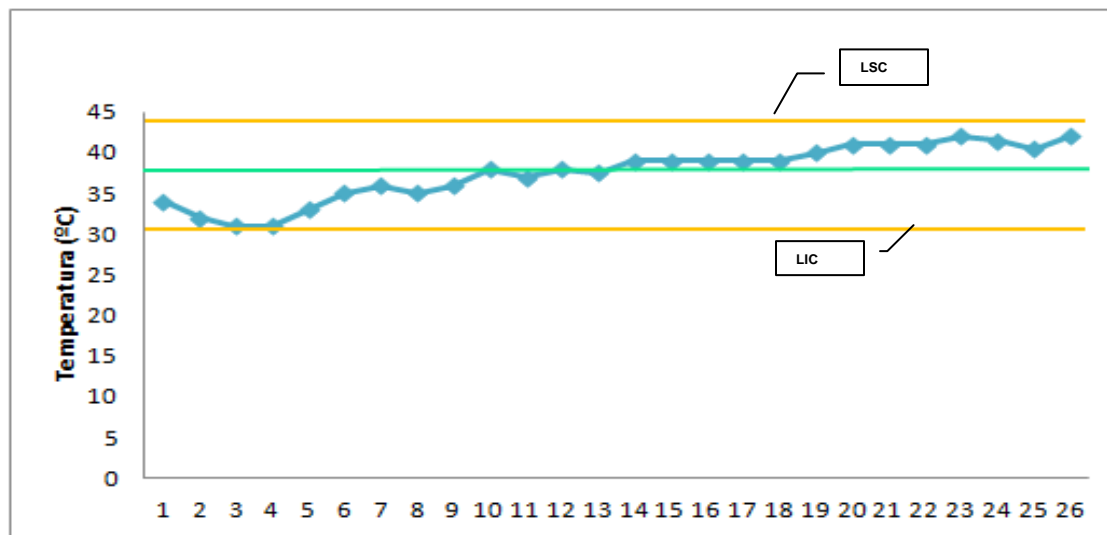
Fuente: elaboración propia.

Figura 79. Histograma del pH en el tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 80. **Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación**



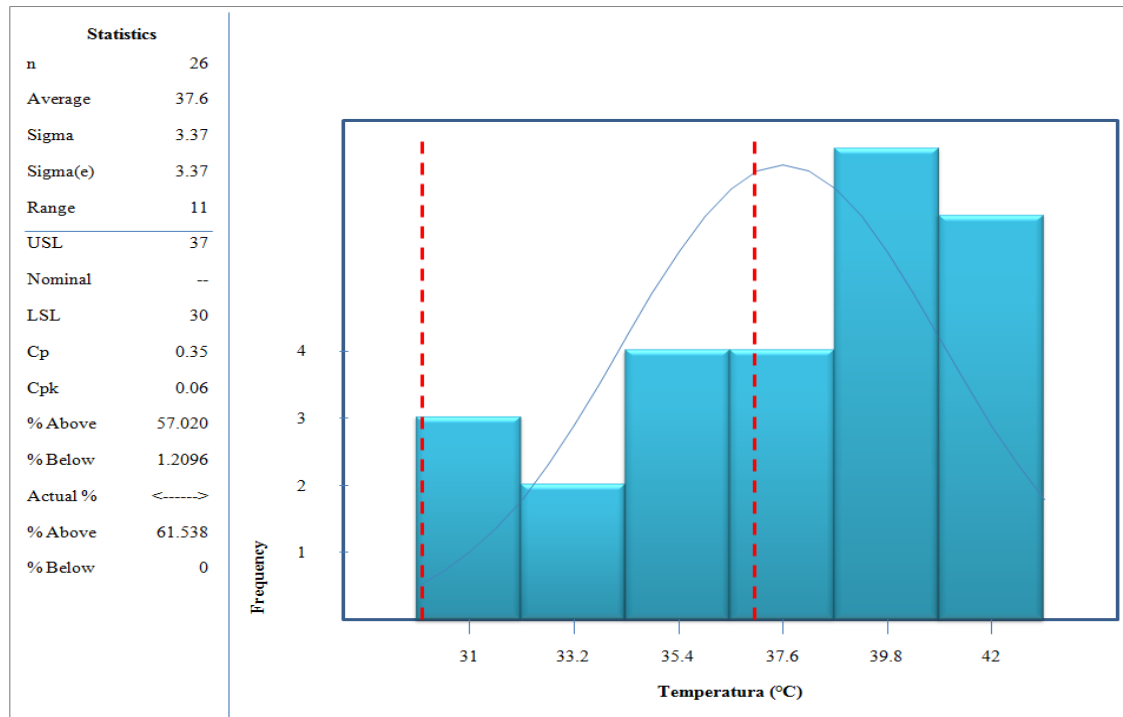
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[31 - 42] °C
	Promedio	37,60°C

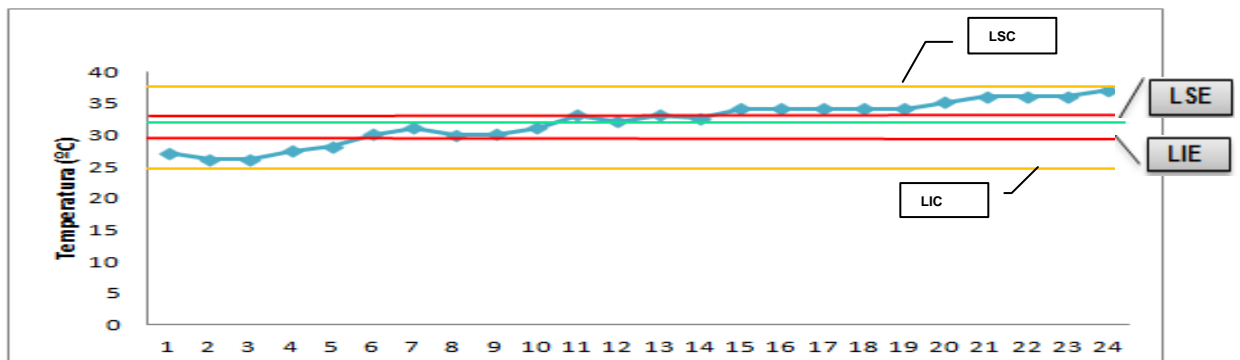
Fuente: elaboración propia.

Figura 81. Histograma de la temperatura en el tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 82. Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento



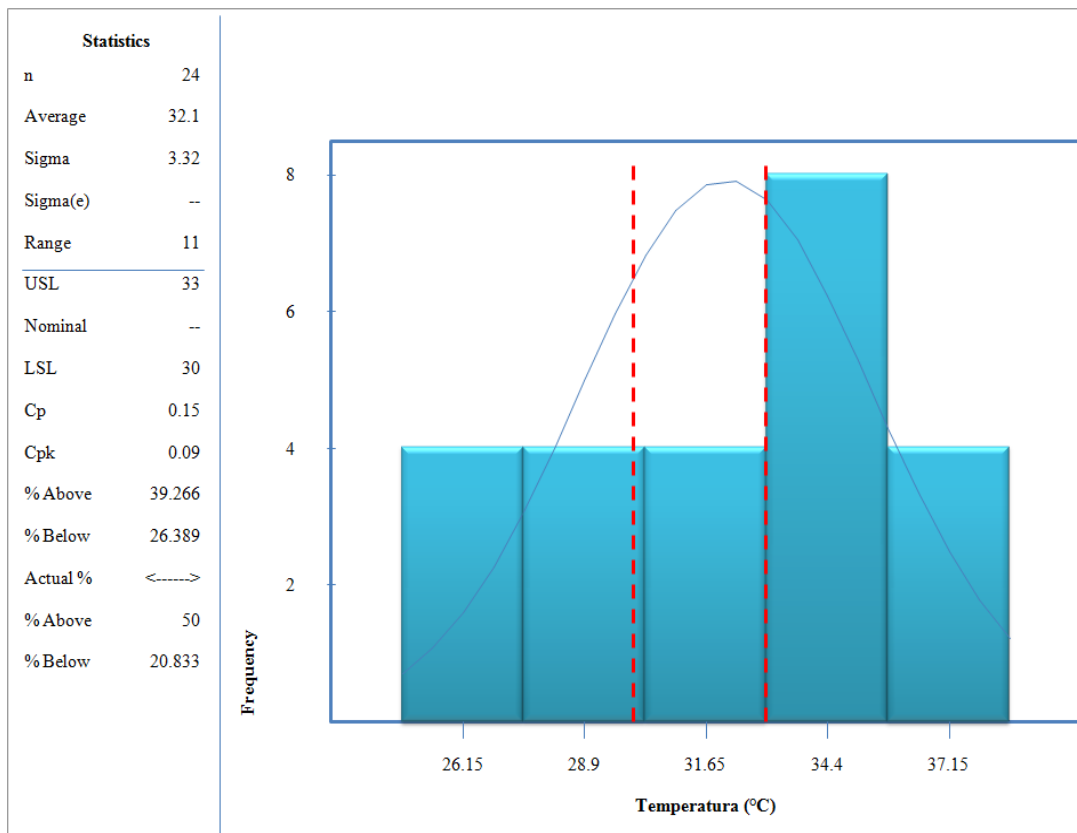
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[26,15 – 37,15] °C
	Promedio	32,10°C

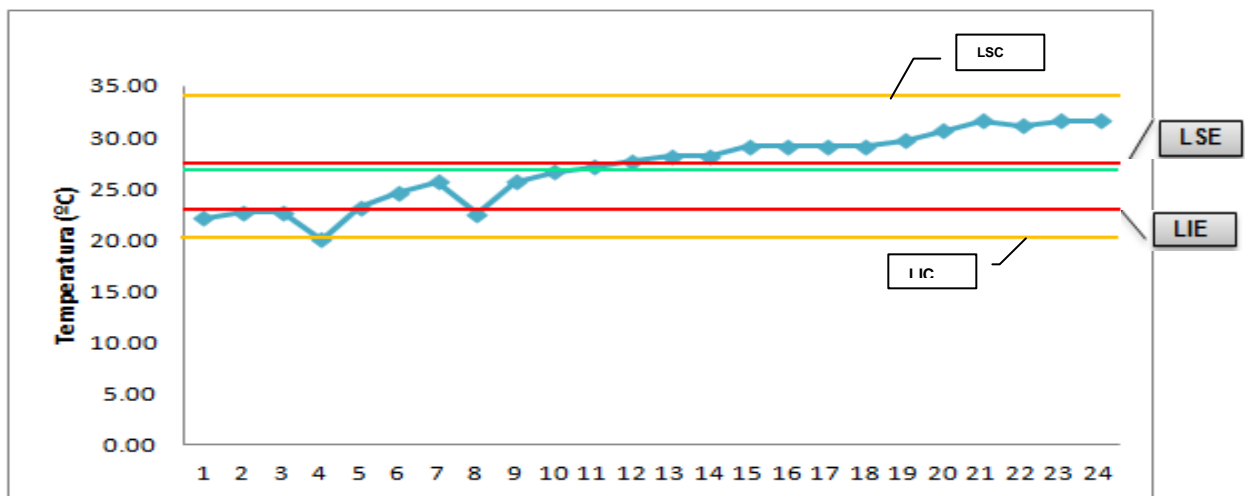
Fuente: elaboración propia.

Figura 83. **Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 84. **Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



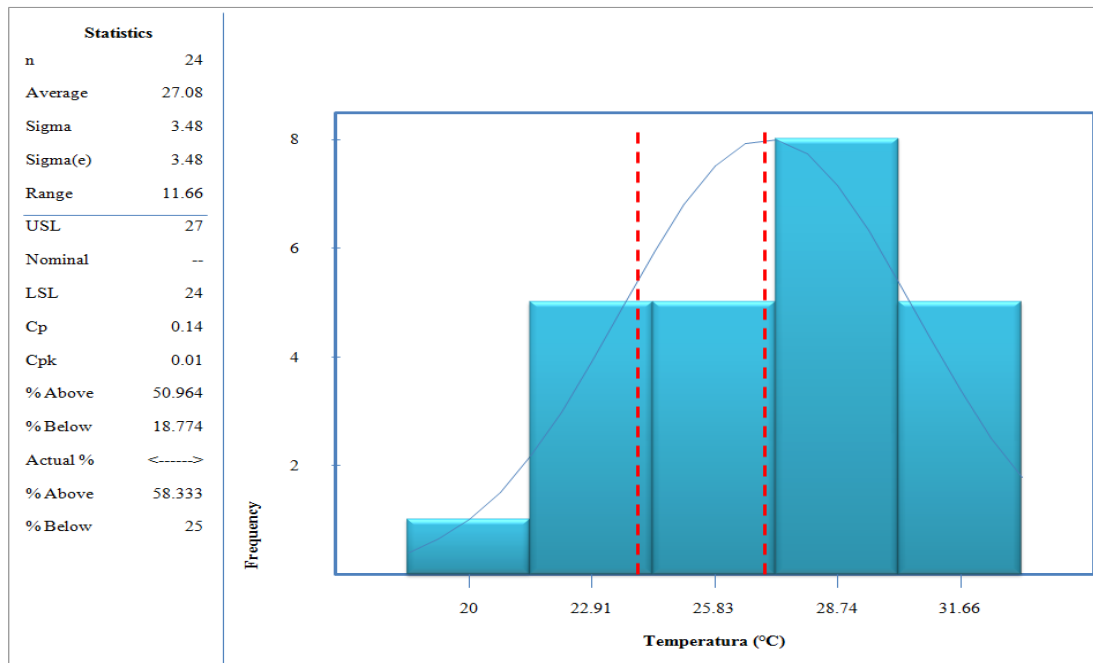
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[22,16 – 31,66] °C
	Promedio	27,08 °C

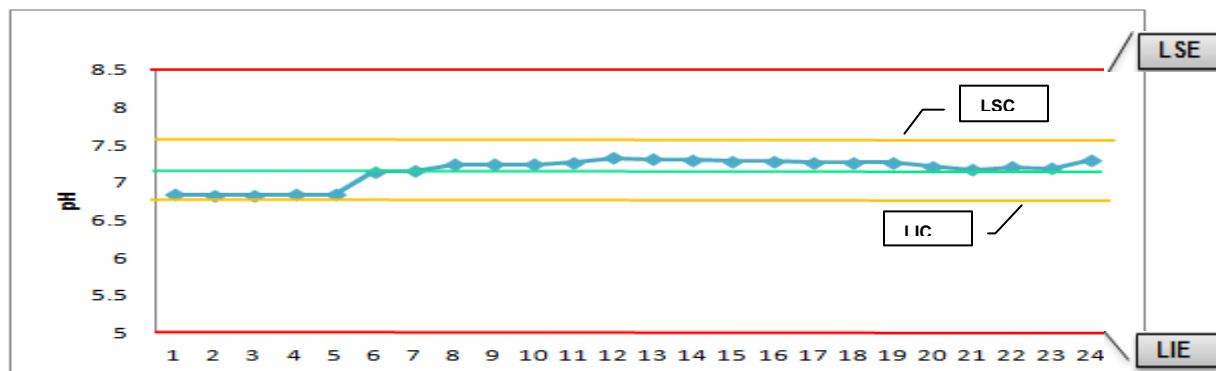
Fuente: elaboración propia.

Figura 85. **Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 86. **Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento**



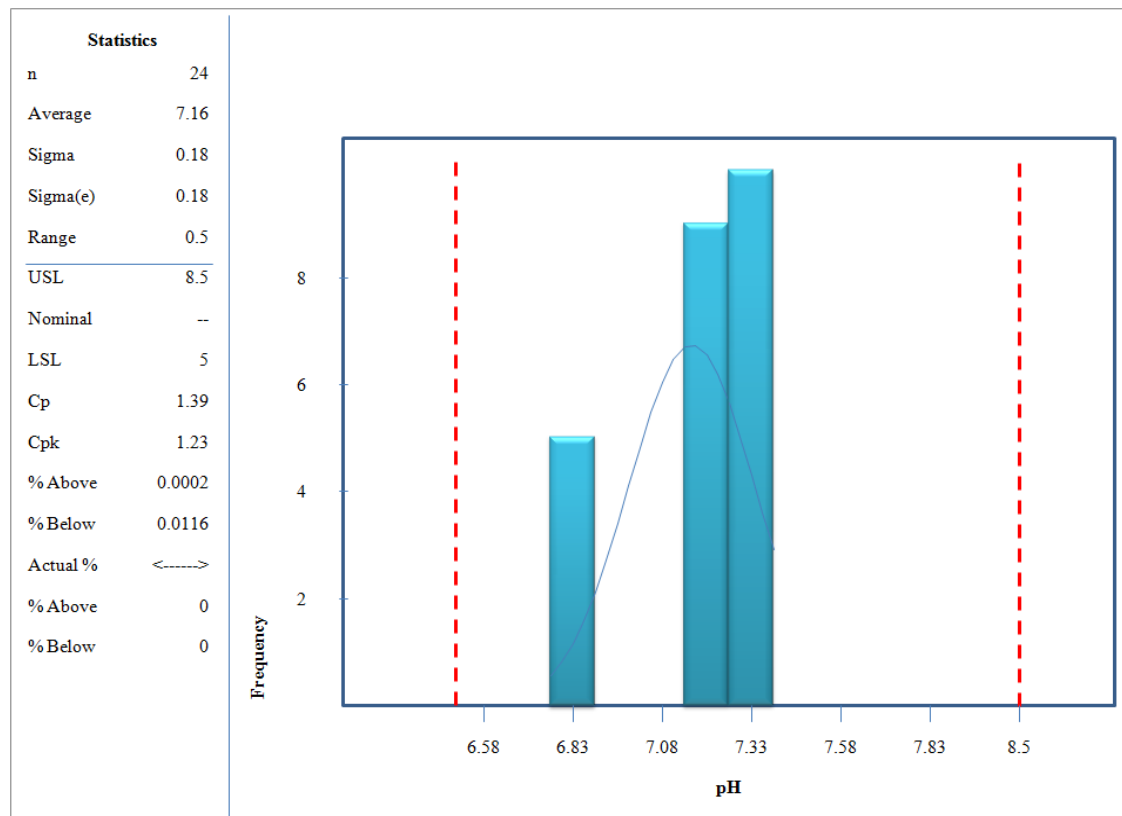
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. Datos del gráfico de control del ph en el tanque de almacenamiento

Color	Descripción	Rango
	pH	[6,83 – 7,30]
	Promedio	7,16

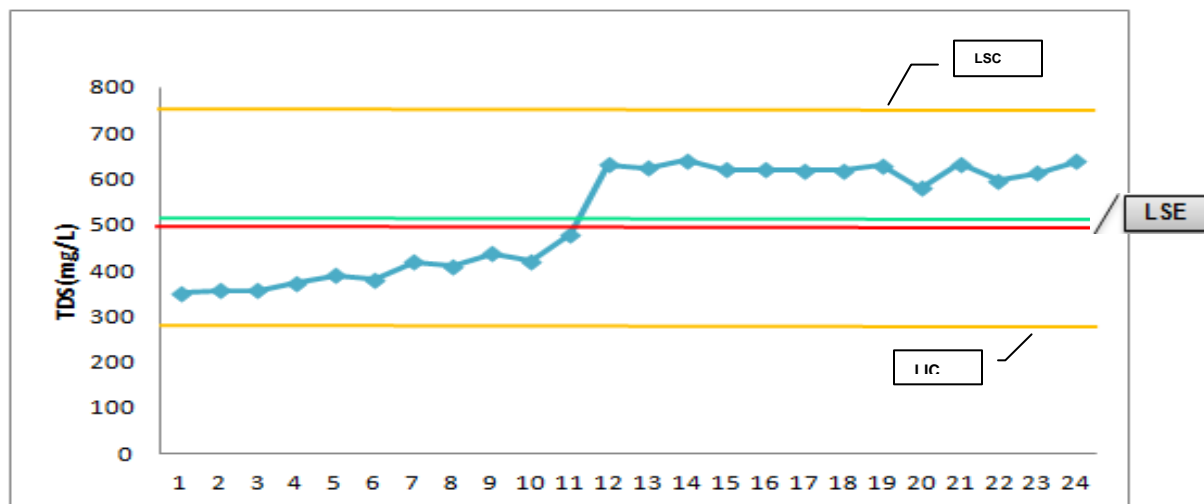
Fuente: elaboración propia.

Figura 87. Histograma del pH en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 88. **Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**



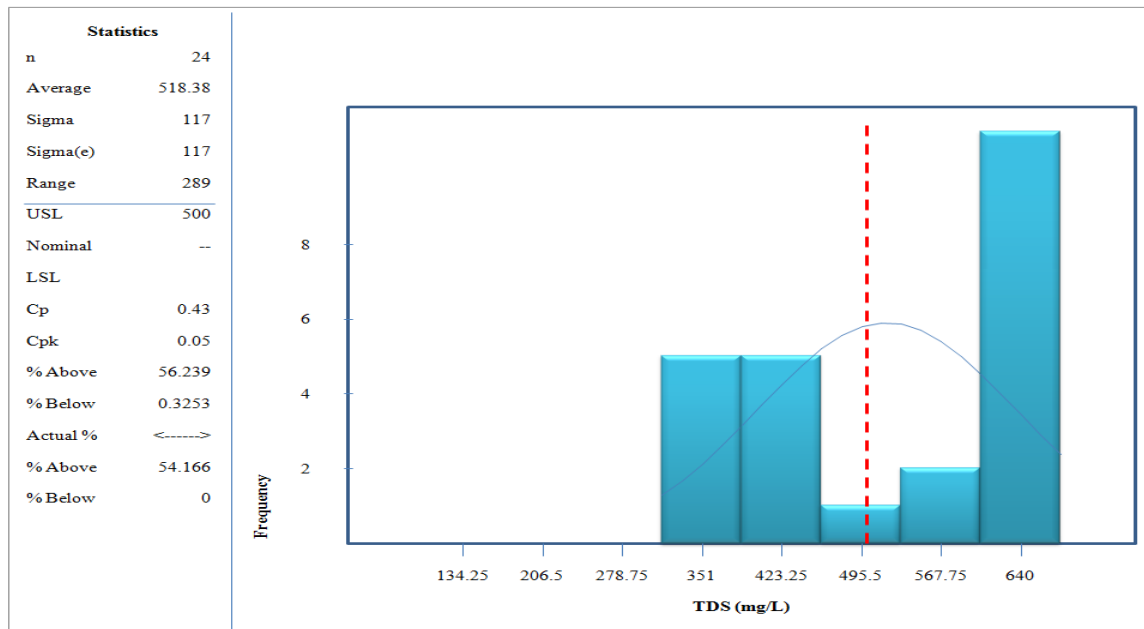
Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	TDS (mg/L)	[351,0 - 640,0] mg/L
	Promedio	518,38 mg/L

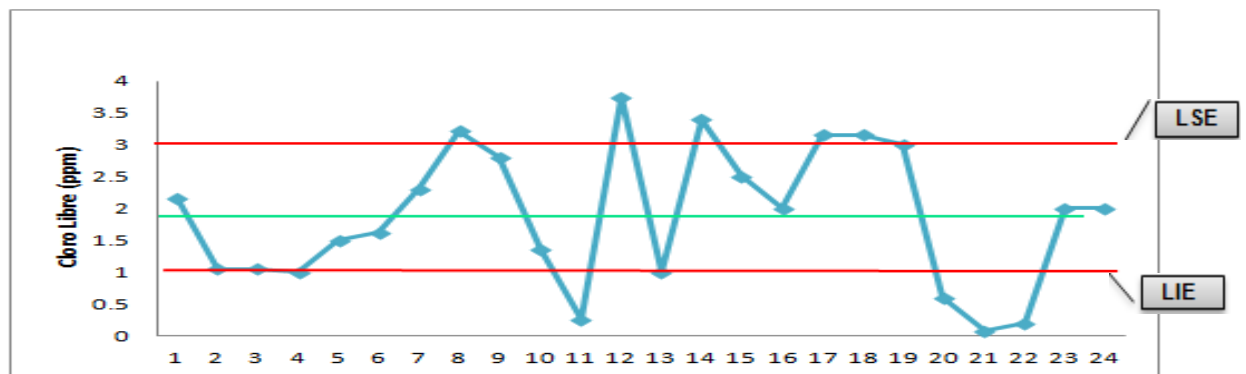
Fuente: elaboración propia.

Figura 89. **Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 90. **Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



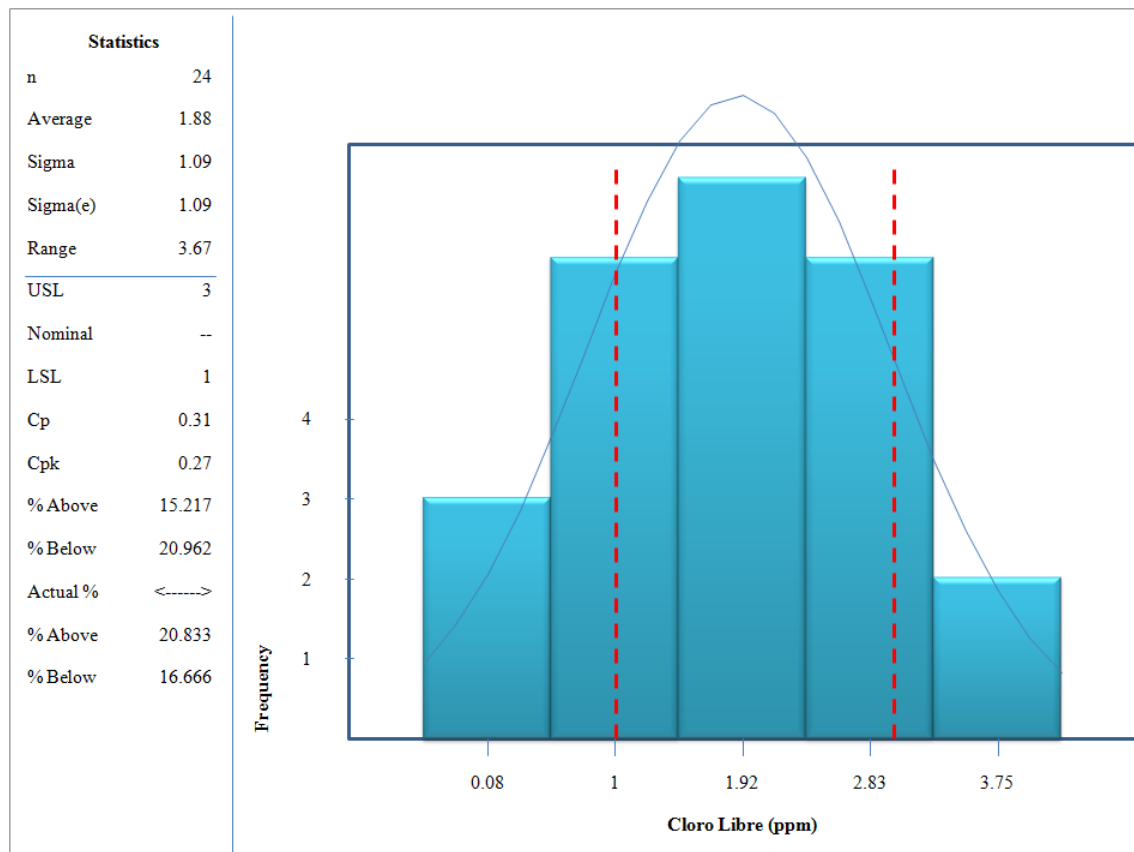
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,2 – 3,75] ppm
	Promedio	1,88 ppm

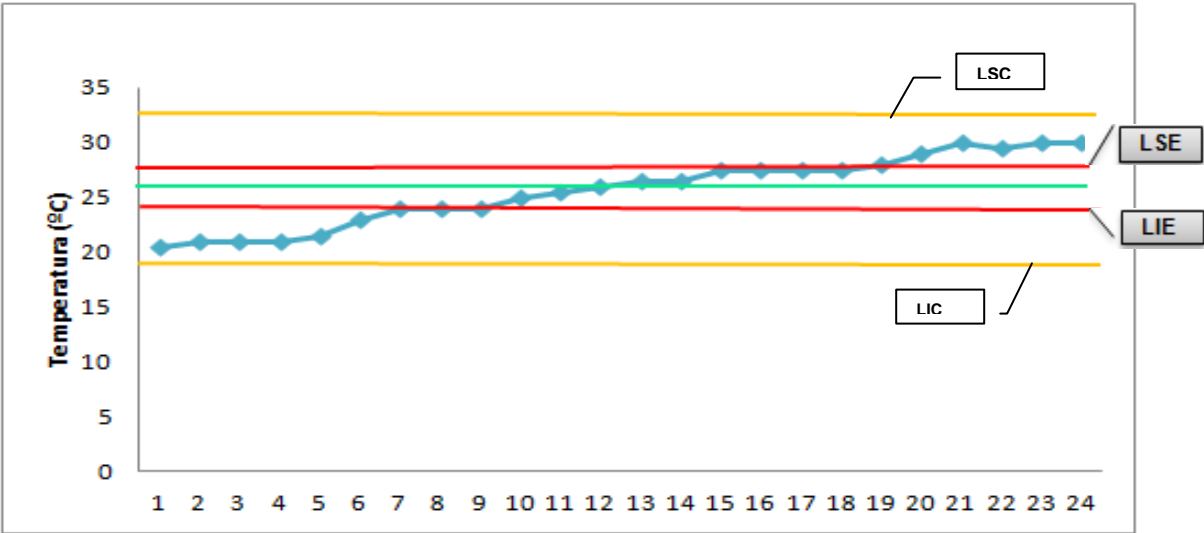
Fuente: elaboración propia.

Figura 91. Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 92. Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento



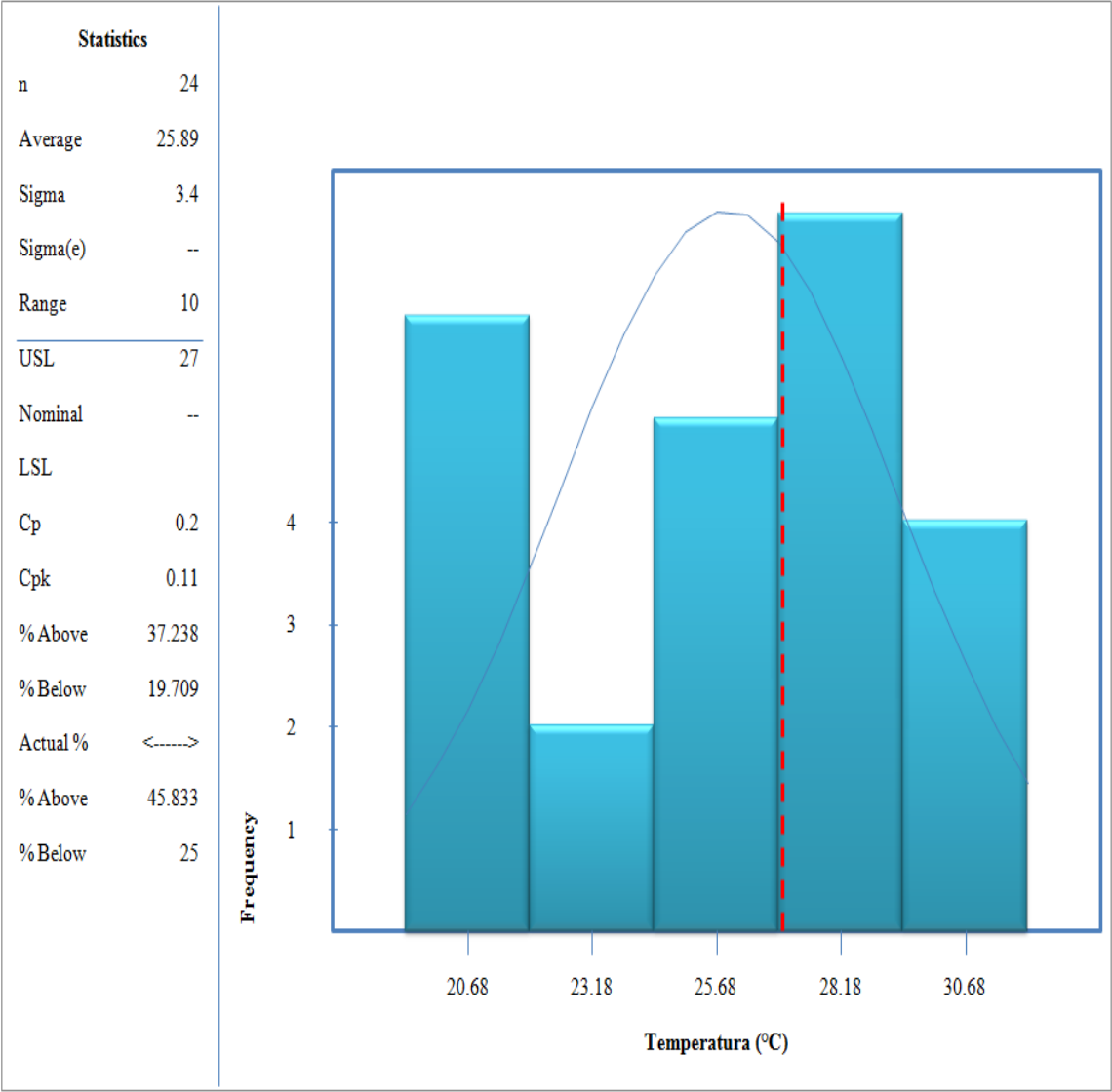
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[20,68 – 30,89] °C
	Promedio	25,89 °C

Fuente: elaboración propia.

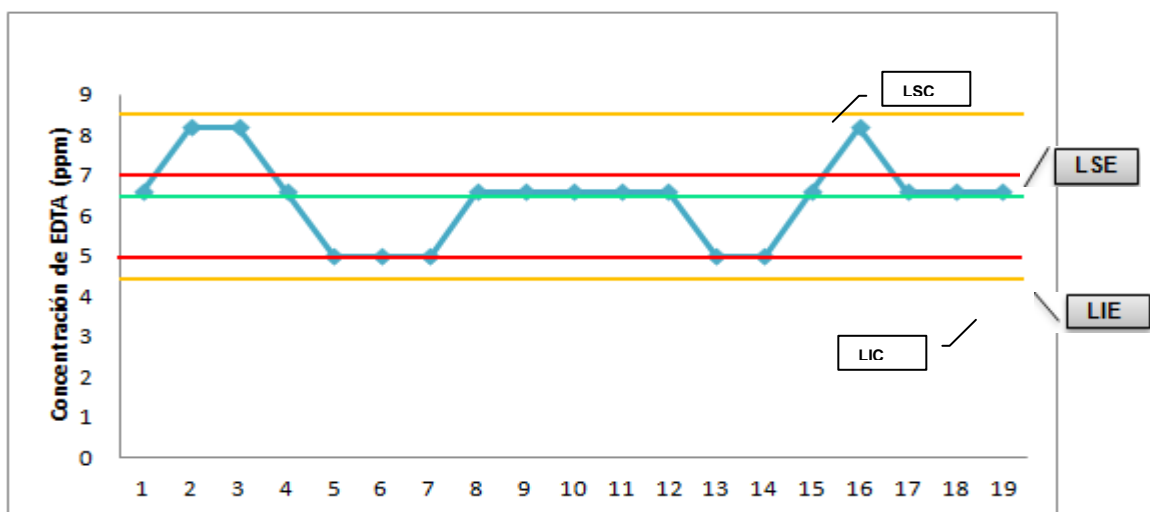
Figura 93. **Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

- ✓ Caso 4
(Ver sección 3.6.2.2. para descripción de los casos)

Figura 94. **Gráfico de control de la concentración de agente acompanyante en tanque de lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Datos del gráfico de control de la concentración del agente acompanyante en tanque de lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Agente acompanyante (ppm)	[5 – 8,2] ppm
	Promedio	6,43 ppm

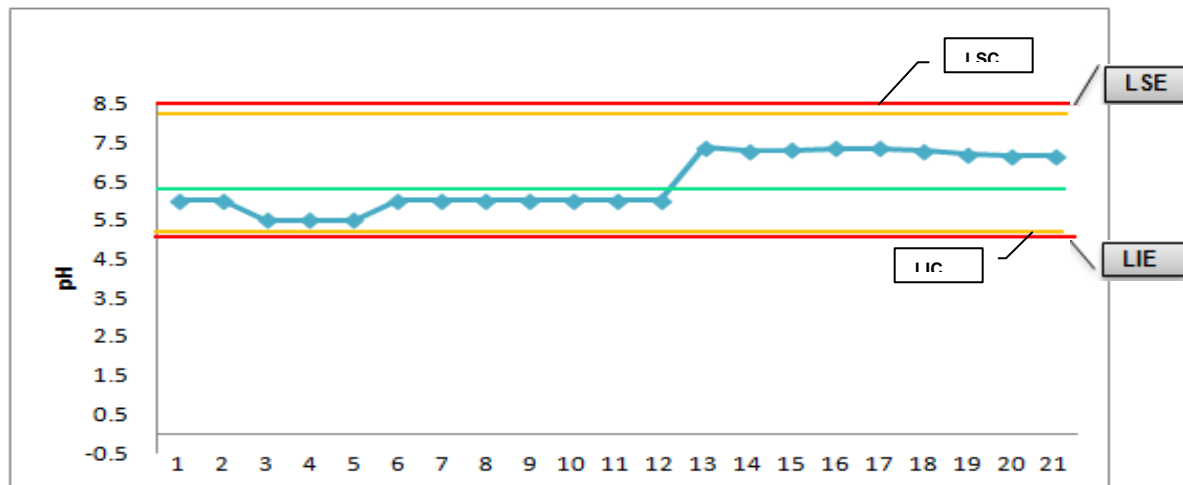
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. **Control estadístico de la concentración del agente
acomplejante**

Herramienta estadística	Valor
Promedio	6,43
Desviación estándar	1,05
Límite superior de control (LSC)	8,54
Límite inferior de control (LIC)	4,33
Límite superior de especificación (LSE)	7,00
Límite inferior de especificación (LIE)	5,00
Cp	0,32
Cp _K	0,45

Fuente: elaboración propia.

Figura 95. **Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de
chorros de enjuague en lavadora**



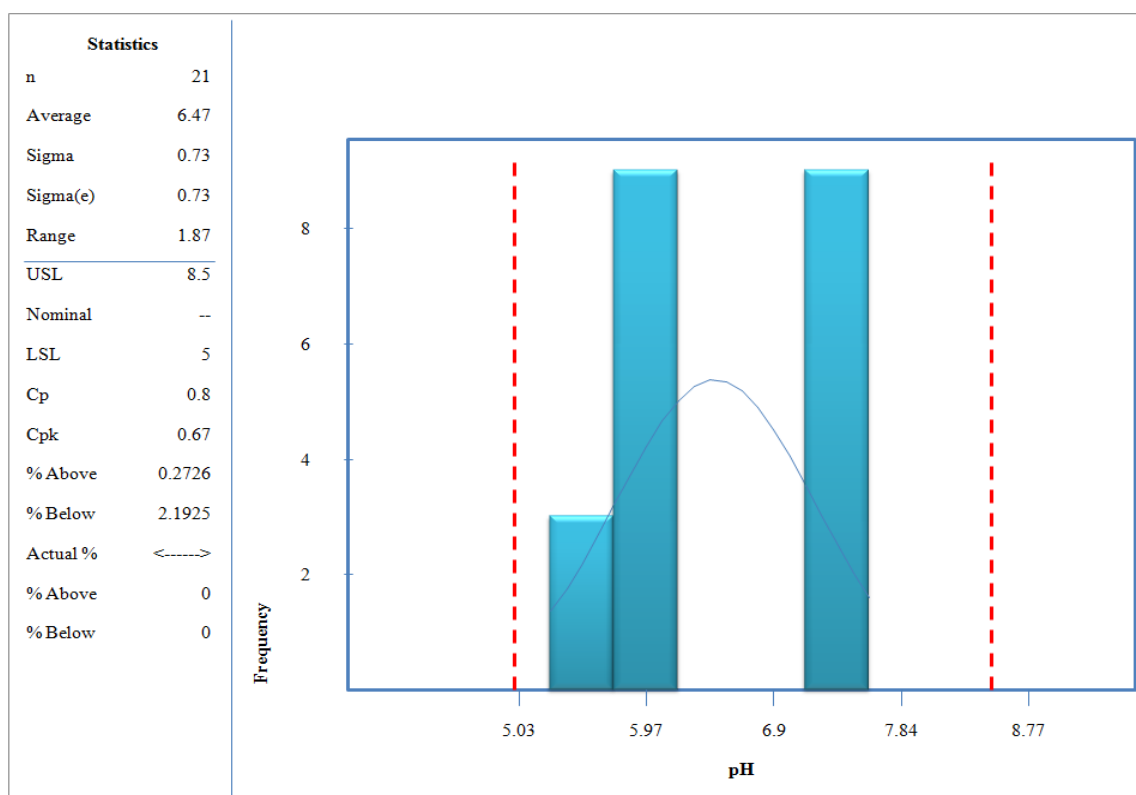
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXV. Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	pH	[5,5 – 7,37]
	Promedio	6,47

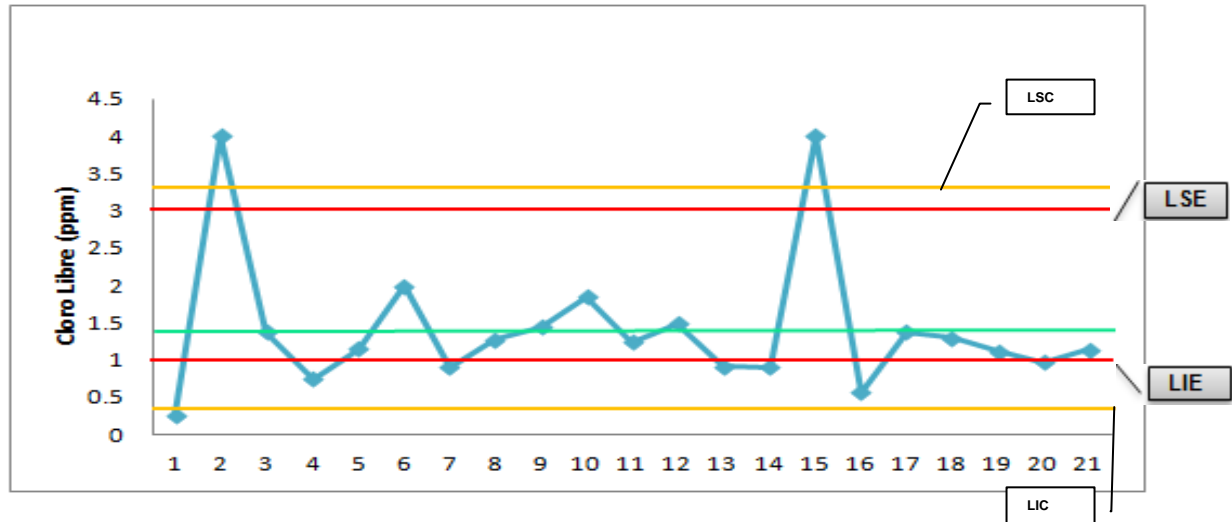
Fuente: elaboración propia.

Figura 96. Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



Fuente: elaboración propia.

Figura 97. **Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



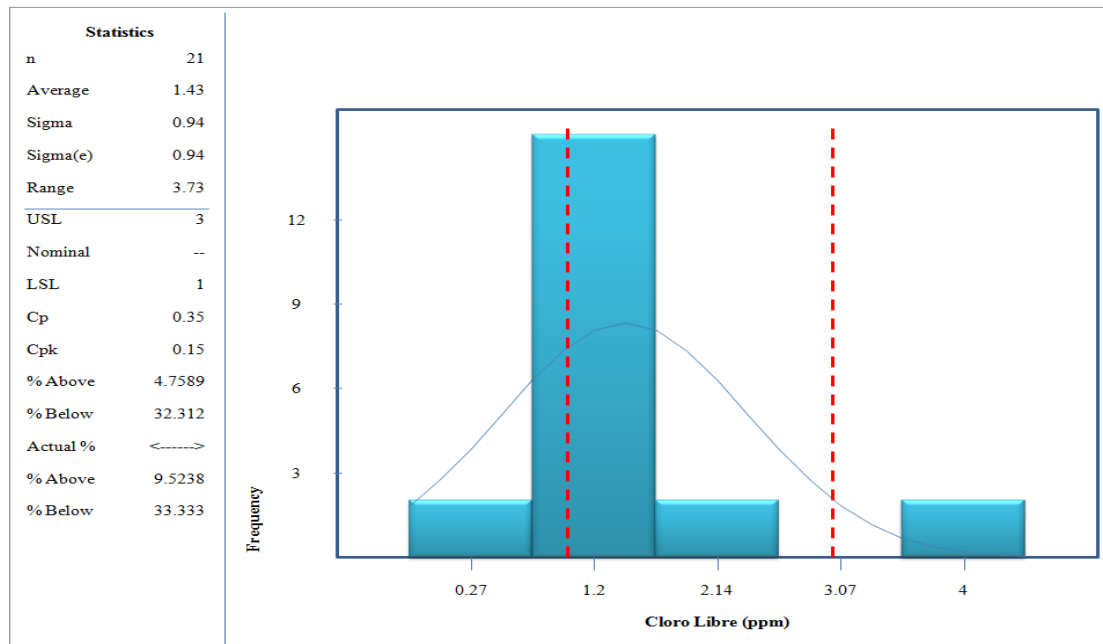
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,27 – 4,0] ppm
	Promedio	1,43 ppm

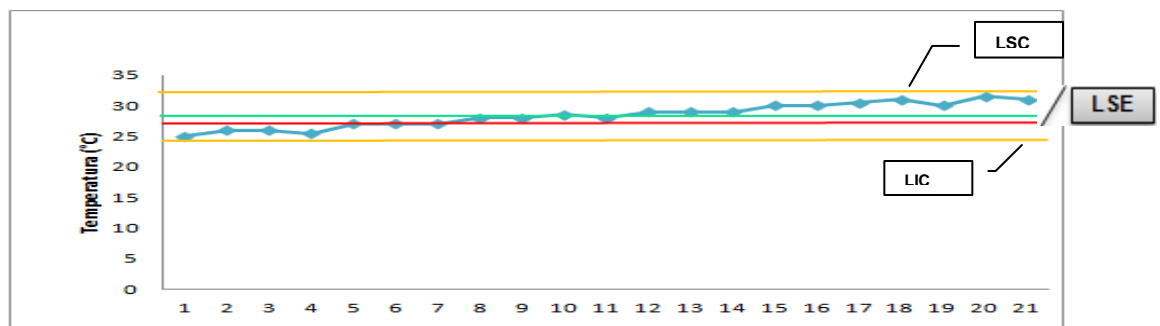
Fuente: elaboración propia.

Figura 98. **Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 99. **Gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



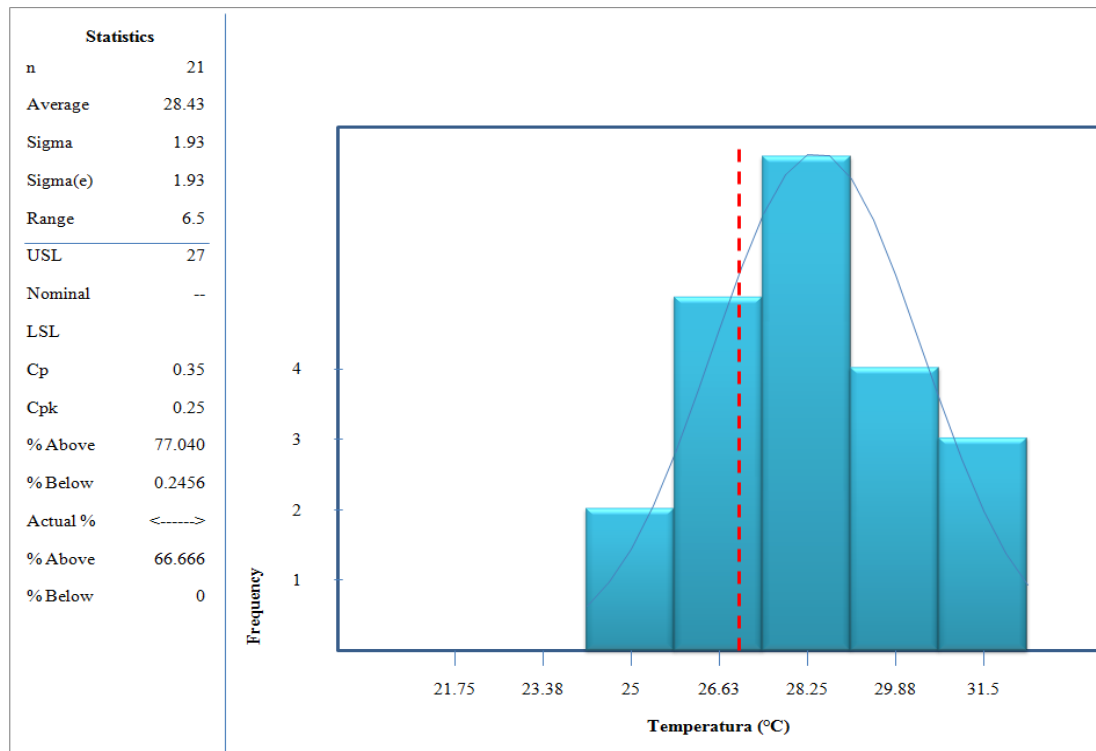
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[25;0 – 31,5] °C
	Promedio	28,43 °C

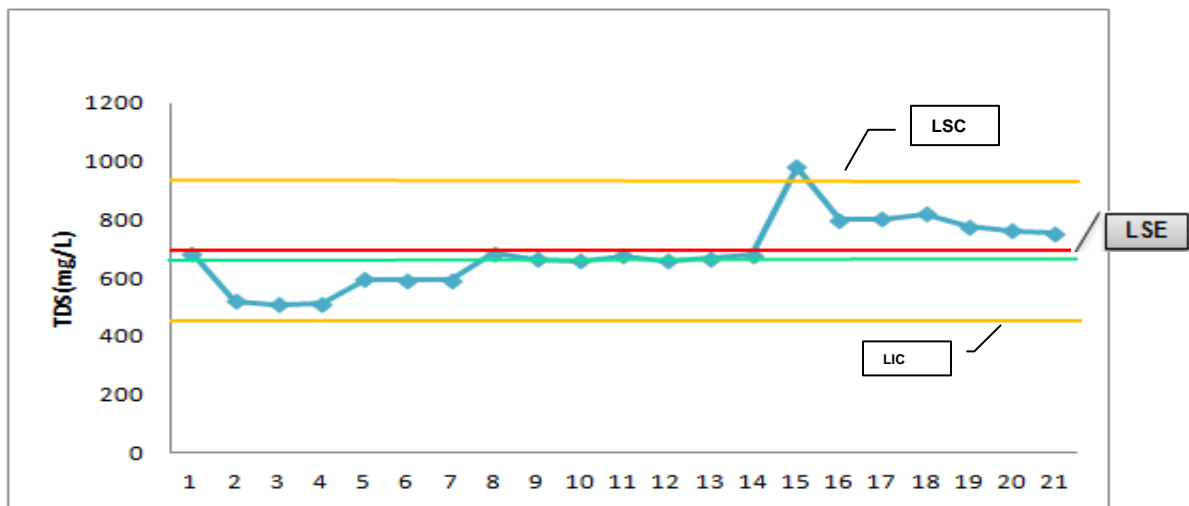
Fuente: elaboración propia.

Figura 100. Histograma de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



Fuente: elaboración propia.

Figura 101. **Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación**



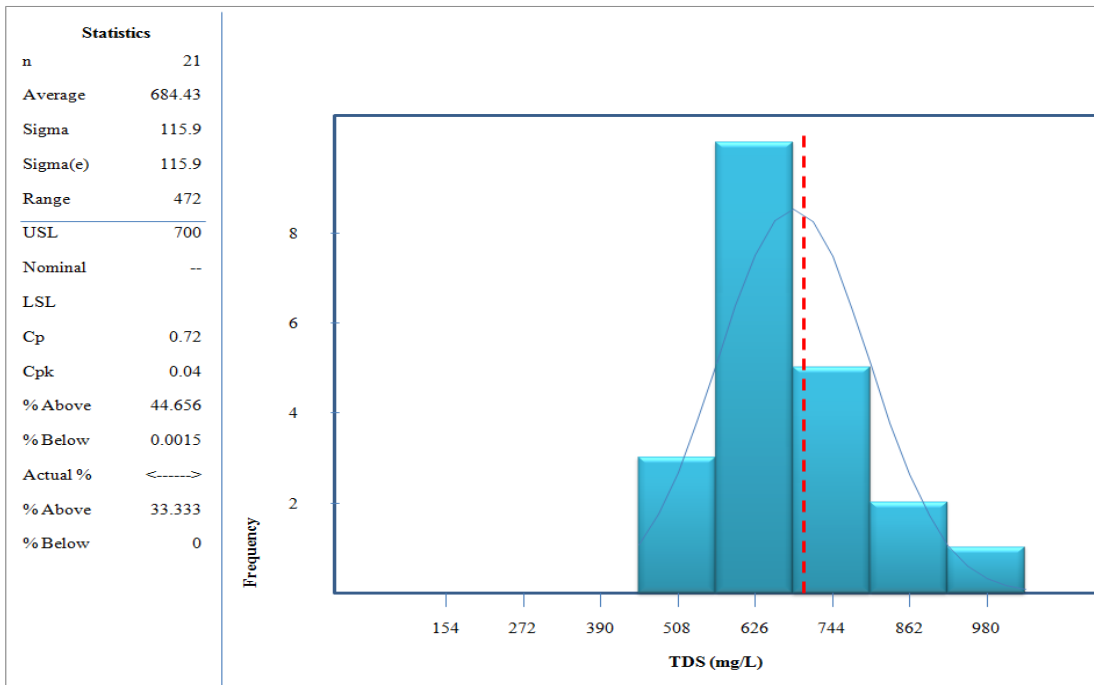
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVIII. **Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Sólidos totales disueltos (mg/L)	[508 - 980] mg/L
	Promedio	684,43 mg/L

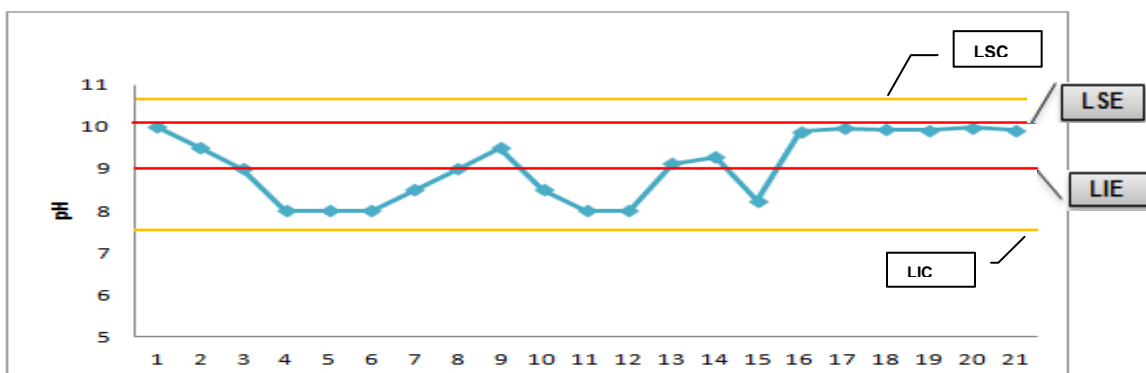
Fuente: elaboración propia.

Figura 102. **Histograma de TDS del agua en tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 103. **Gráfico de control del pH en el tanque de captación**



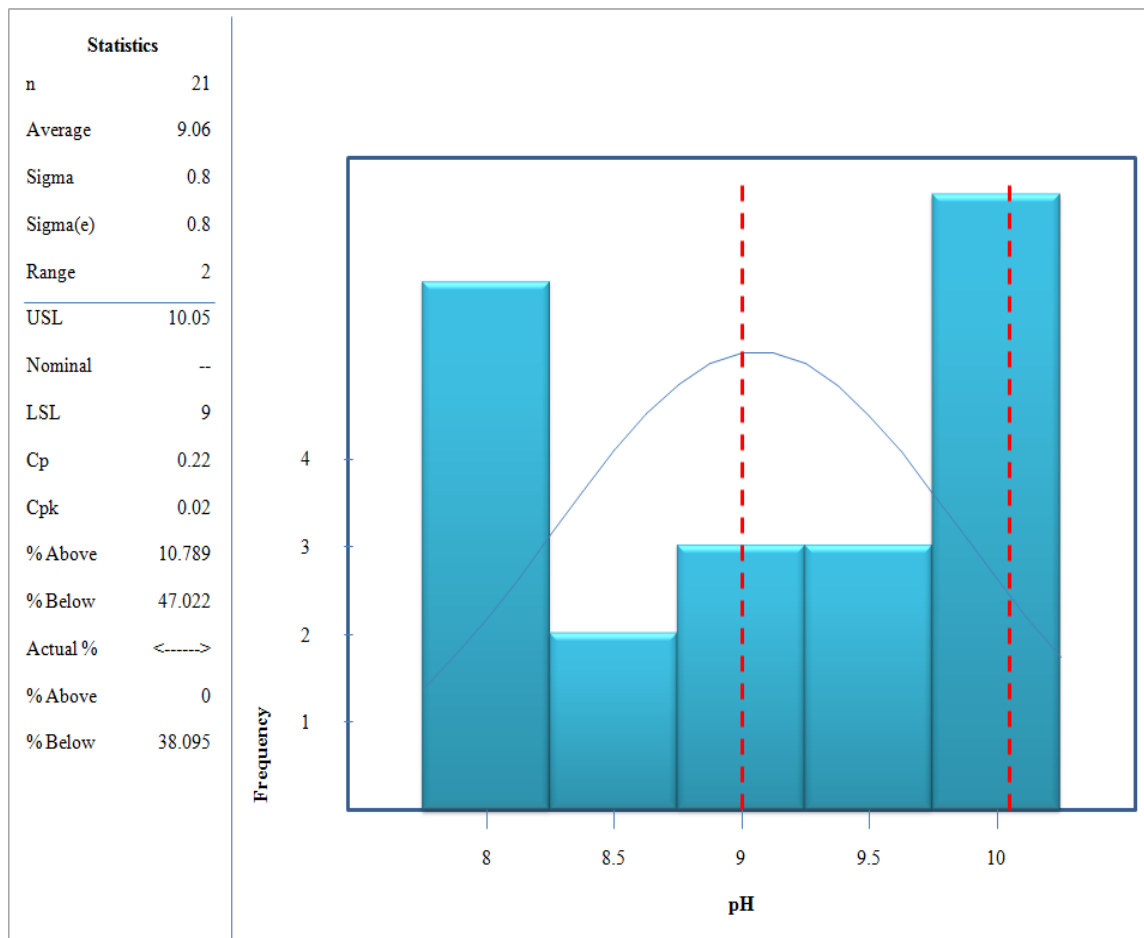
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. **Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación**

color	descripción	rango
	pH	[8,0 – 10,0]
	Promedio	9,06

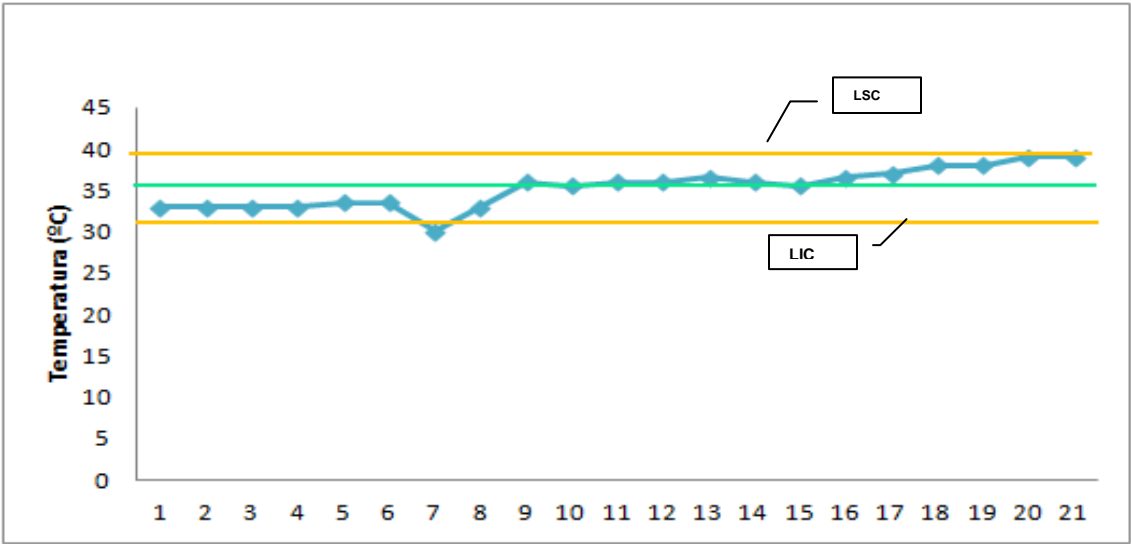
Fuente: elaboración propia.

Figura 104. **Histograma del pH en el tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

Figura 105. **Gráfico de control de la temperatura en tanque de captación**



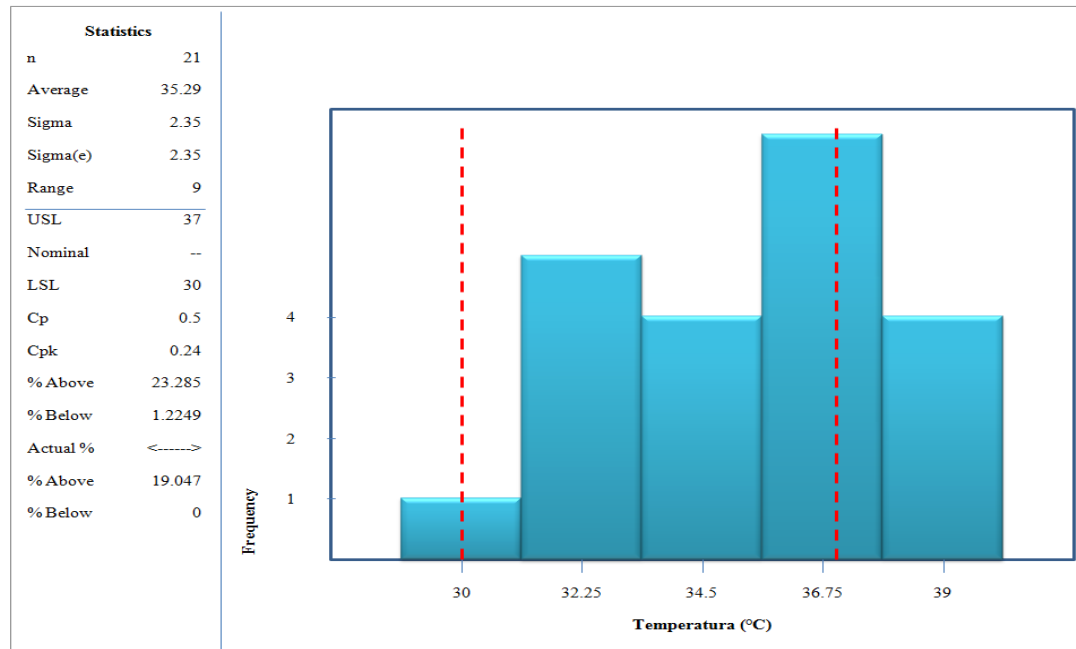
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXX. **Datos del gráfico de control de la temperatura en el tanque de captación**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[33 - 39] °C
	Promedio	35,29°C

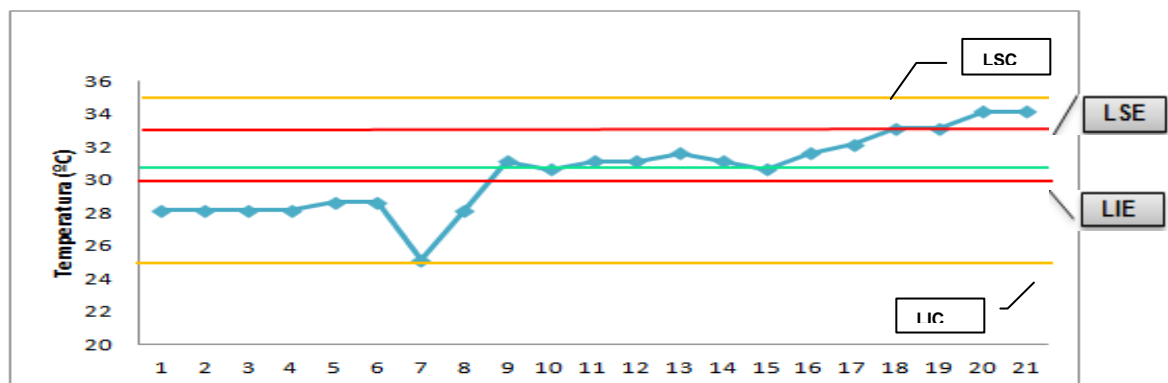
Fuente: elaboración propia.

Figura 106. Histograma de la temperatura en el tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 107. Gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento



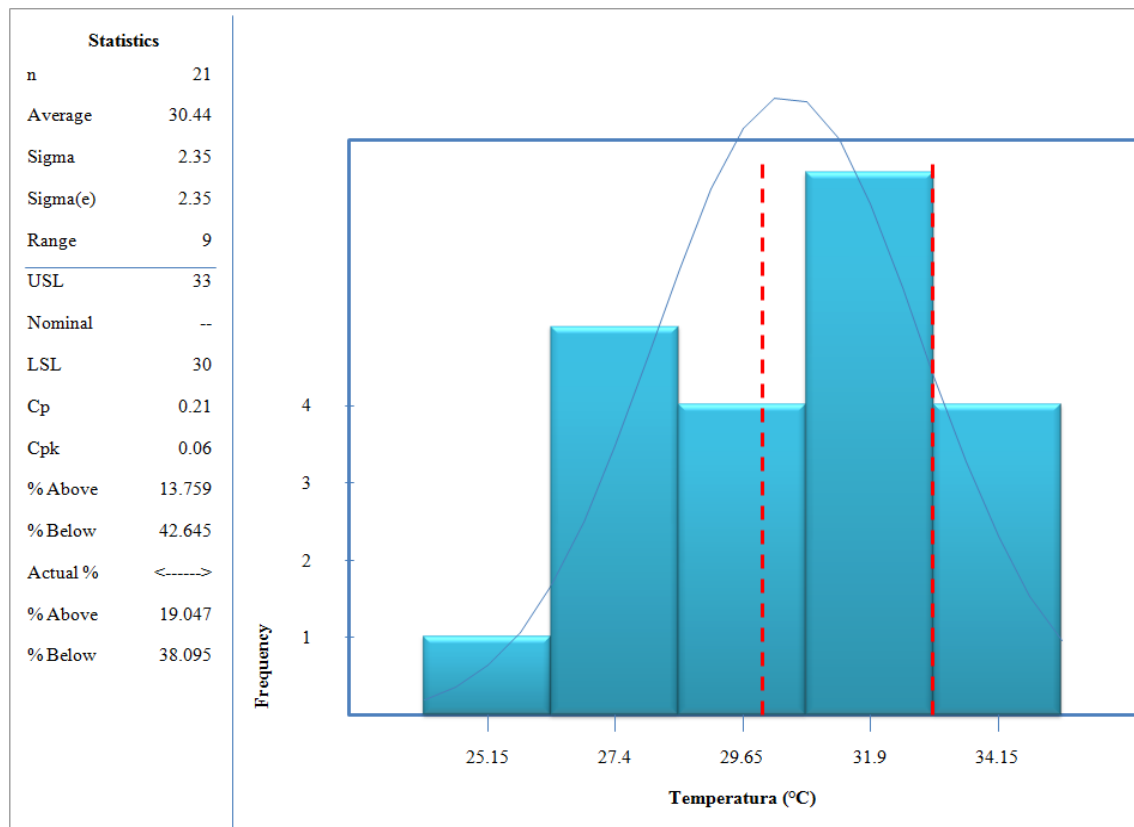
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXI. Datos del gráfico de control de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[28,15 – 34,0] °C
	Promedio	30,44°C

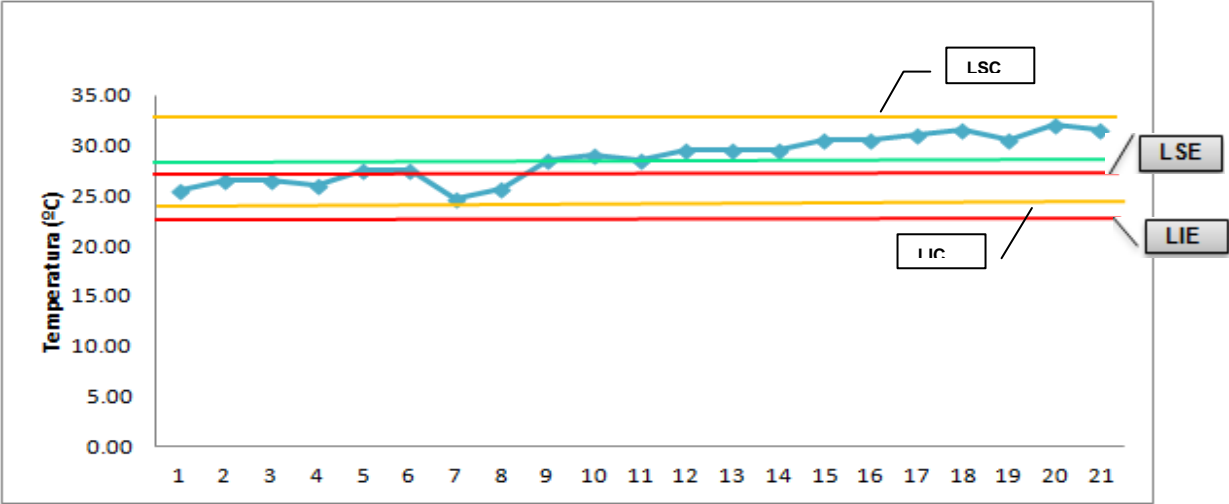
Fuente: elaboración propia.

Figura 108. Histograma de la temperatura de entrada en la torre de enfriamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 109. **Gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



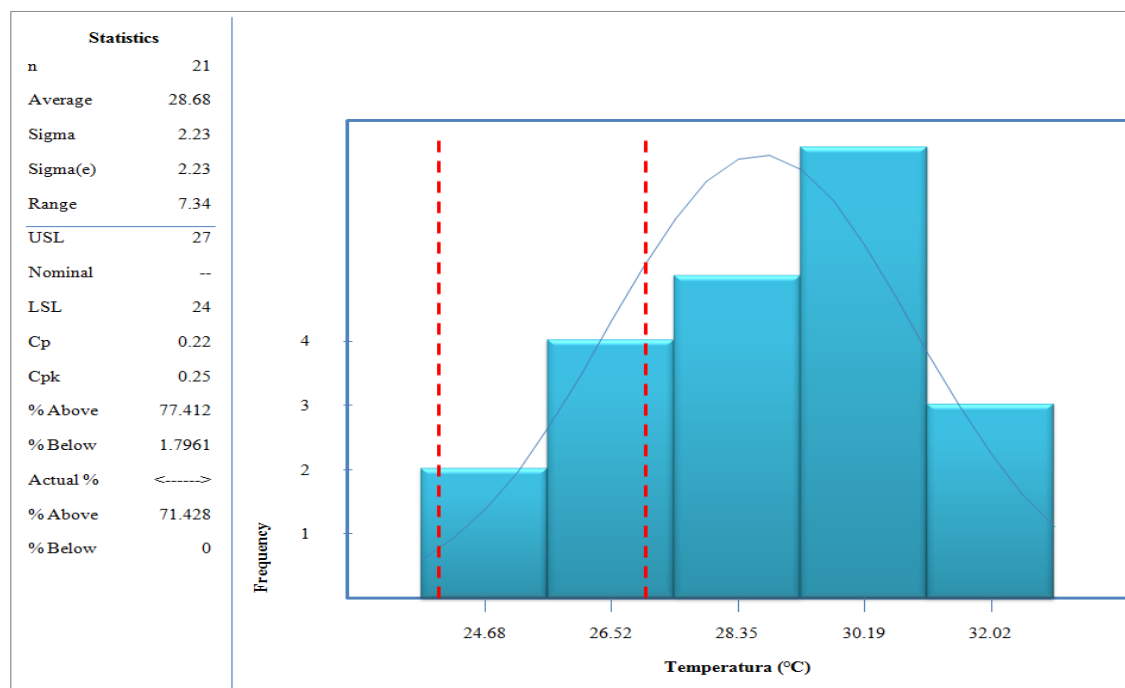
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXII. **Datos del gráfico de control de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[25,5 – 32,0] °C
	Promedio	28,68 °C

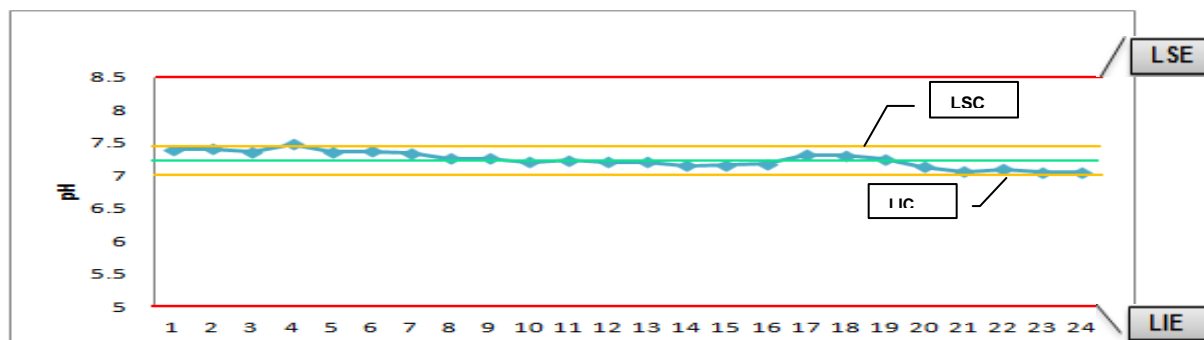
Fuente: elaboración propia.

Figura 110. **Histograma de la temperatura de salida en la torre de enfriamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 111. **Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento**



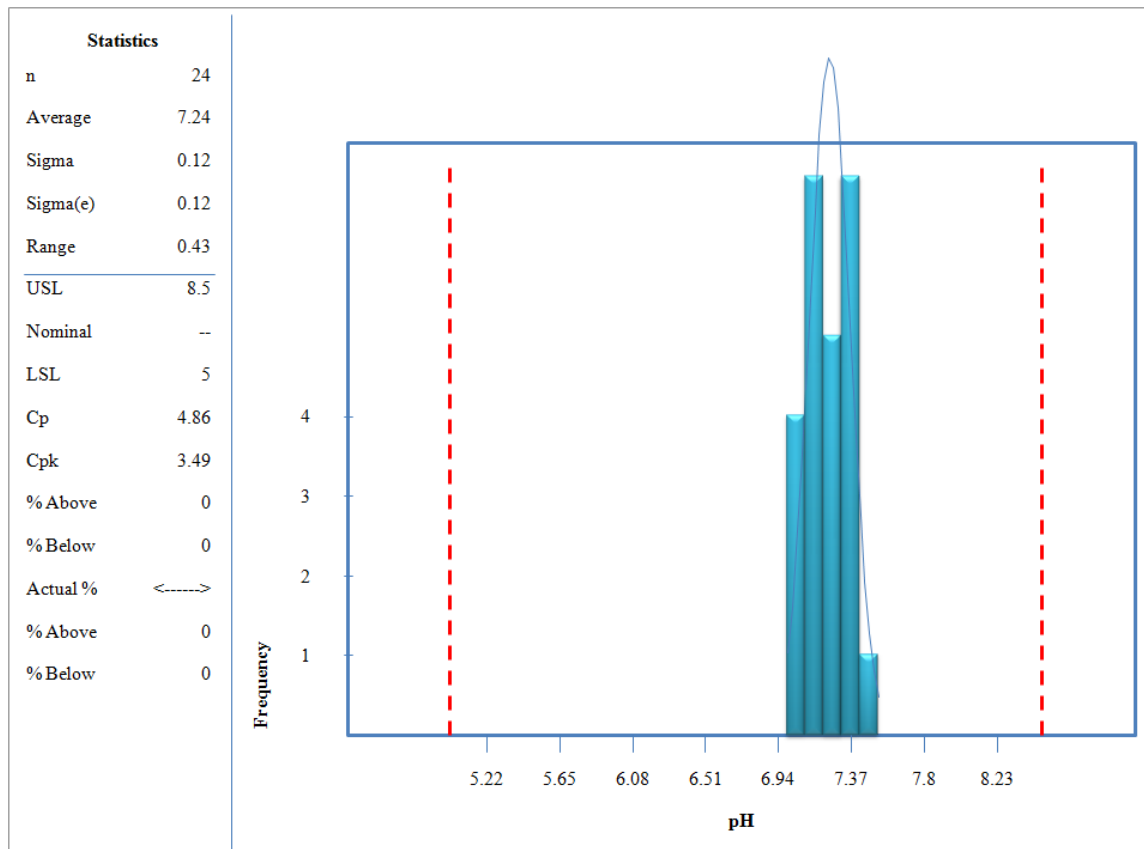
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIII. Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento

Color	Descripción	Rango
	pH	[7,05 – 7,41]
	Promedio	7,24

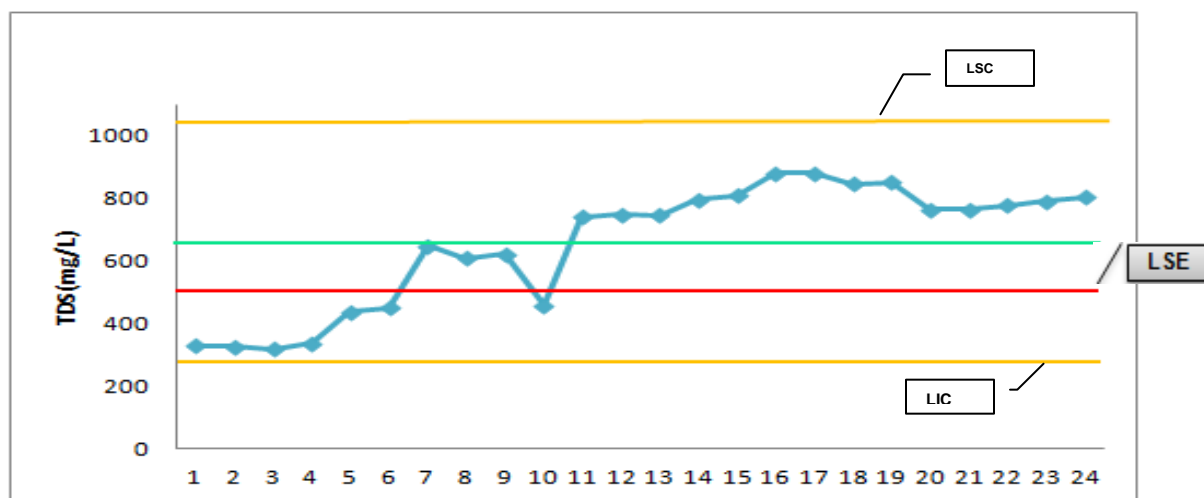
Fuente: elaboración propia.

Figura 112. Histograma del pH en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 113. **Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**



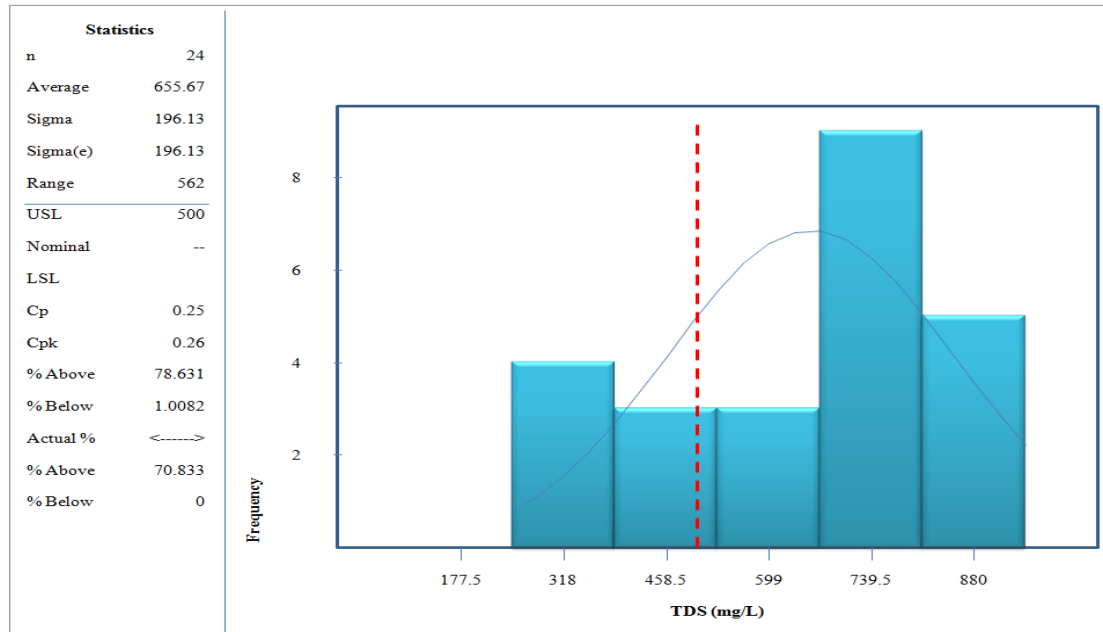
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIV. **Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	TDS (mg/L)	[318,0 - 880,0] mg/L
	Promedio	655,67 mg/L

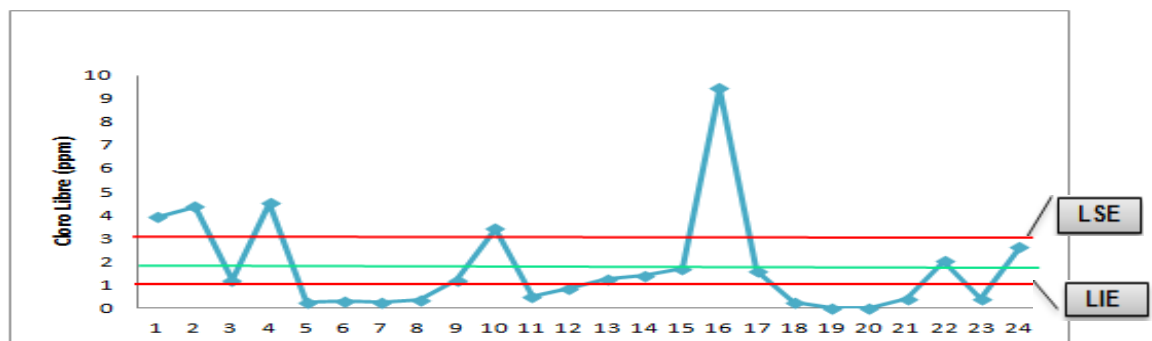
Fuente: elaboración propia.

Figura 114. **Histograma de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 115. **Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



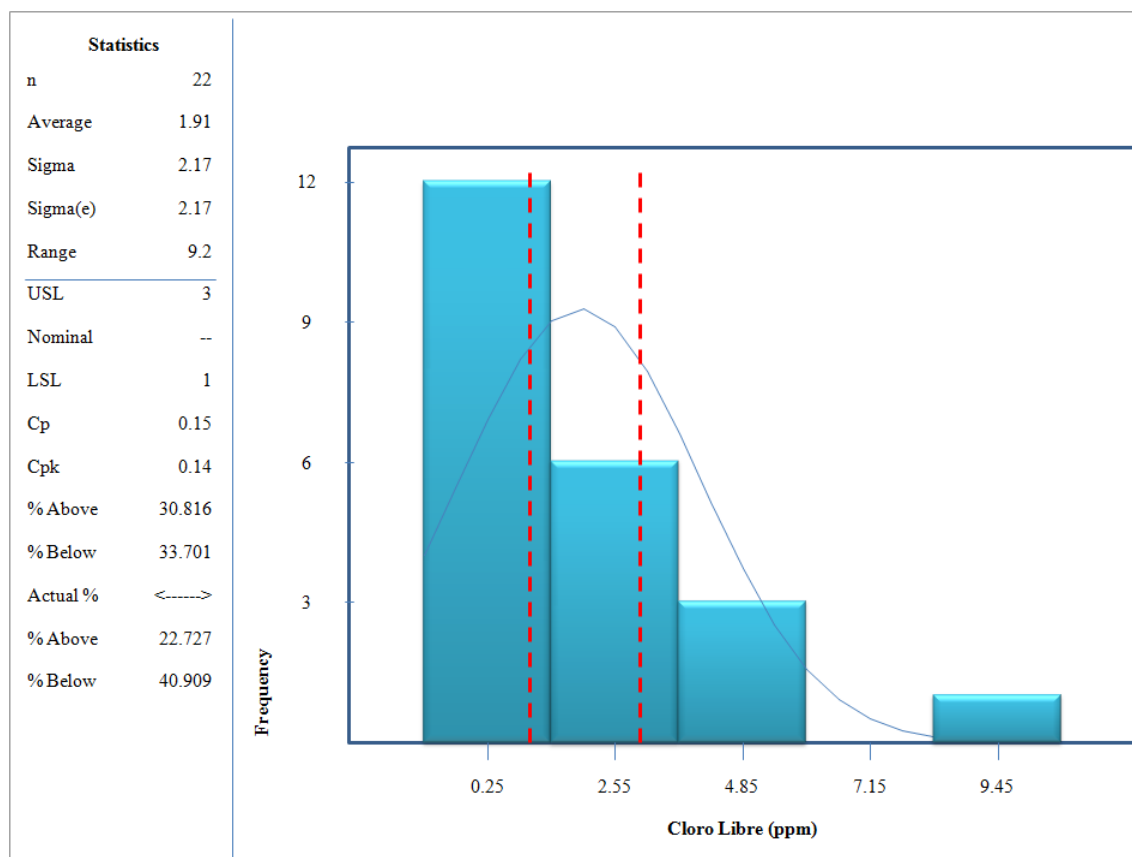
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXV. **Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,25 – 9,45] ppm
	Promedio	1,91 ppm

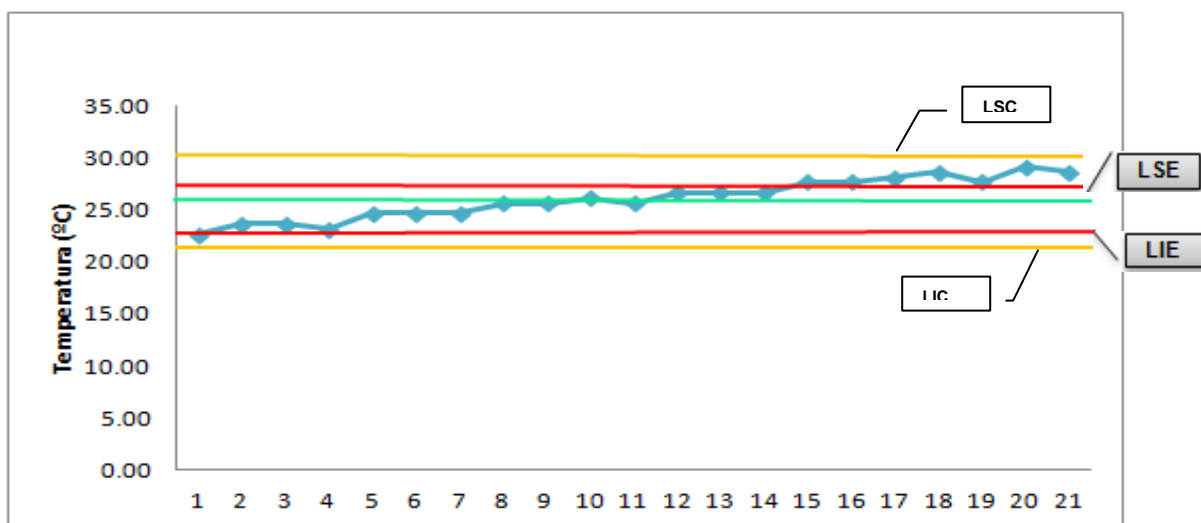
Fuente: elaboración propia.

Figura 116. **Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 117. **Gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento**



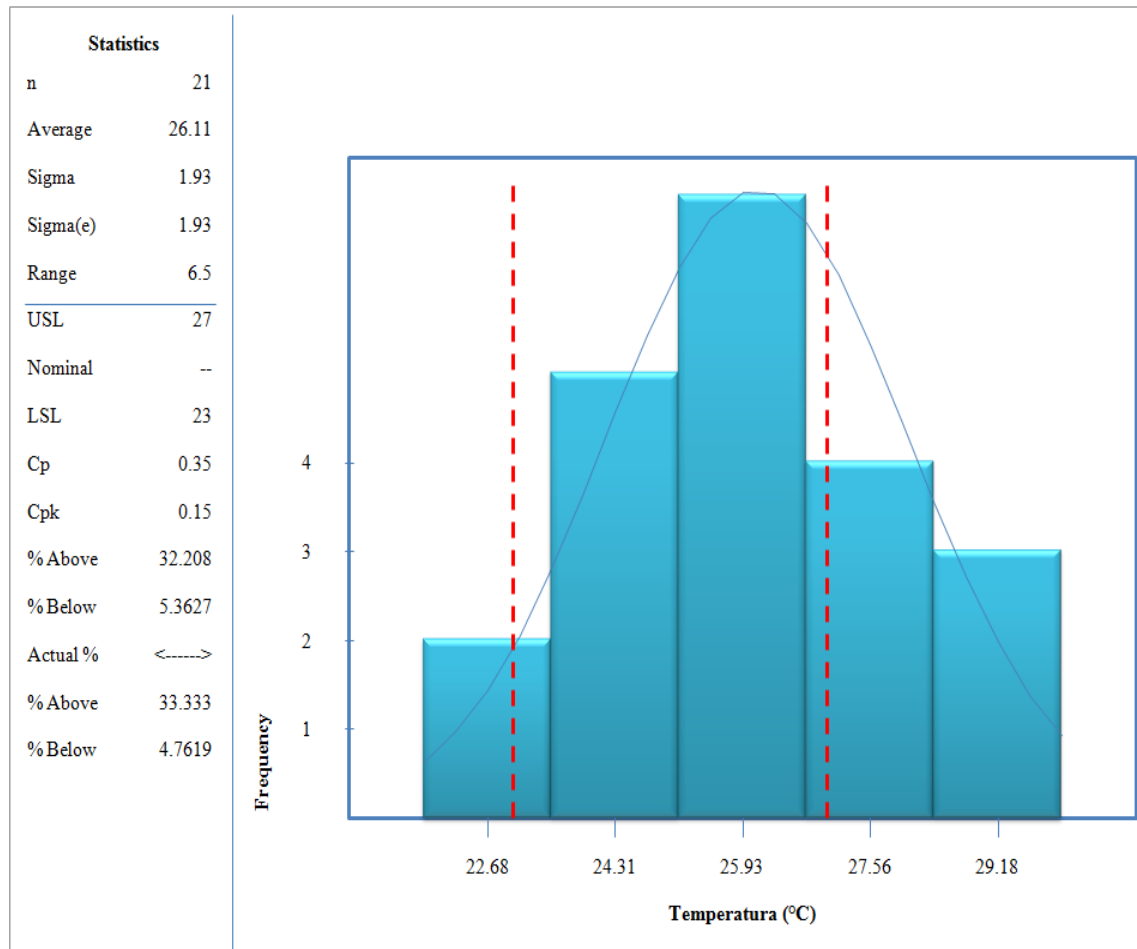
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVI. **Datos del gráfico de control de temperatura en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	Temperatura (°C)	[22,5 – 29,18] °C
	Promedio	26,11 °C

Fuente: elaboración propia.

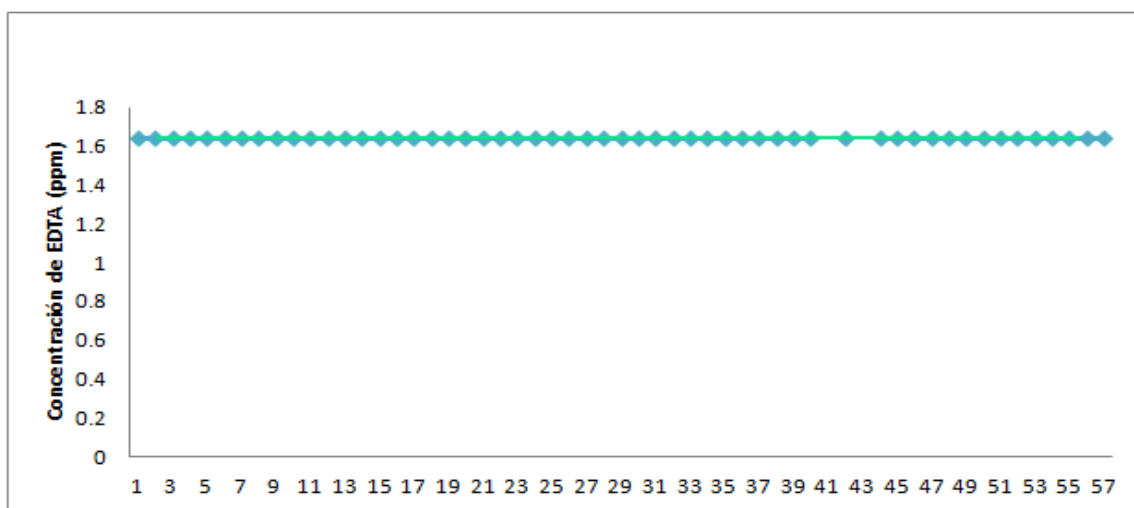
Figura 118. Histograma de temperatura en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

- ✓ Caso 5
(Ver sección 3.6.2.2. para descripción de los casos)

Figura 119. **Gráfico de control de la concentración de agente
acomplejante en tanque de lavadora**



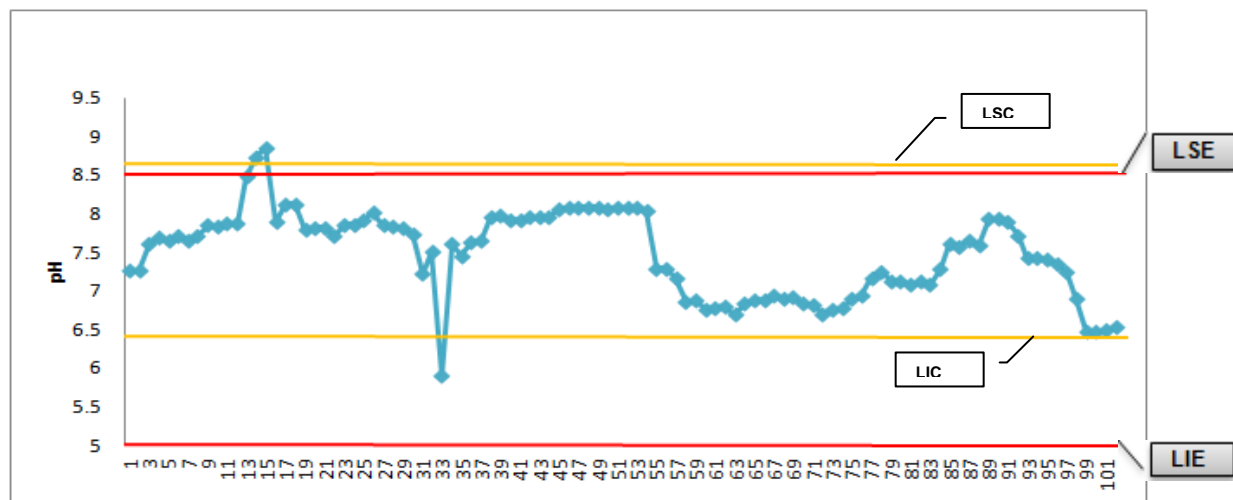
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVII. **Datos del gráfico de control de la concentración del
agente complejante en tanque de lavadora**

Color	Descripción	Rango
	Agente complejante (ppm)	[1,64] ppm
	Promedio	1,64 ppm

Fuente: elaboración propia.

Figura 120. **Gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



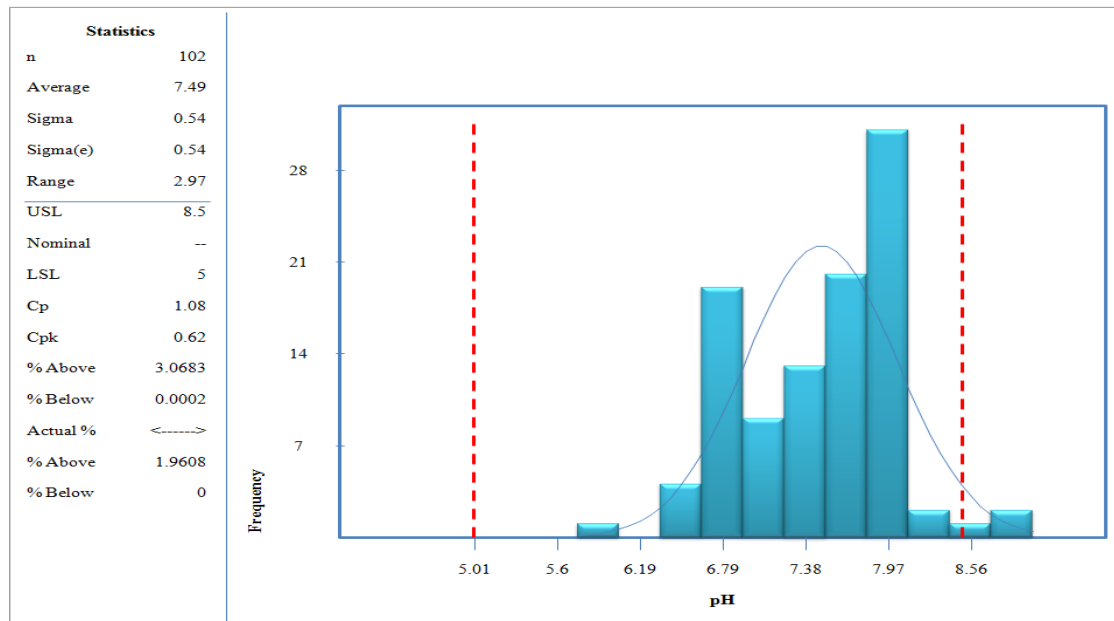
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVIII. **Datos del gráfico de control del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**

Color	Descripción	Rango
	pH	[6,47 – 8,86]
	Promedio	7,49

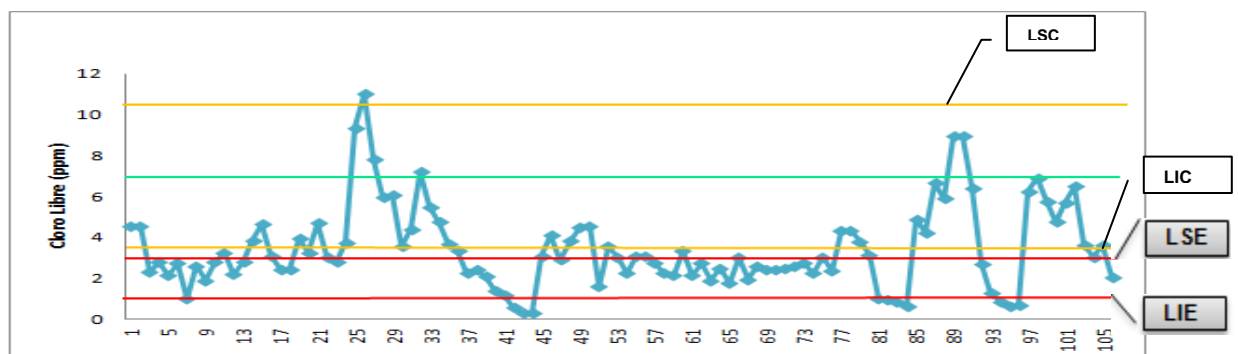
Fuente: elaboración propia.

Figura 121. **Histograma del pH del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 122. **Gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



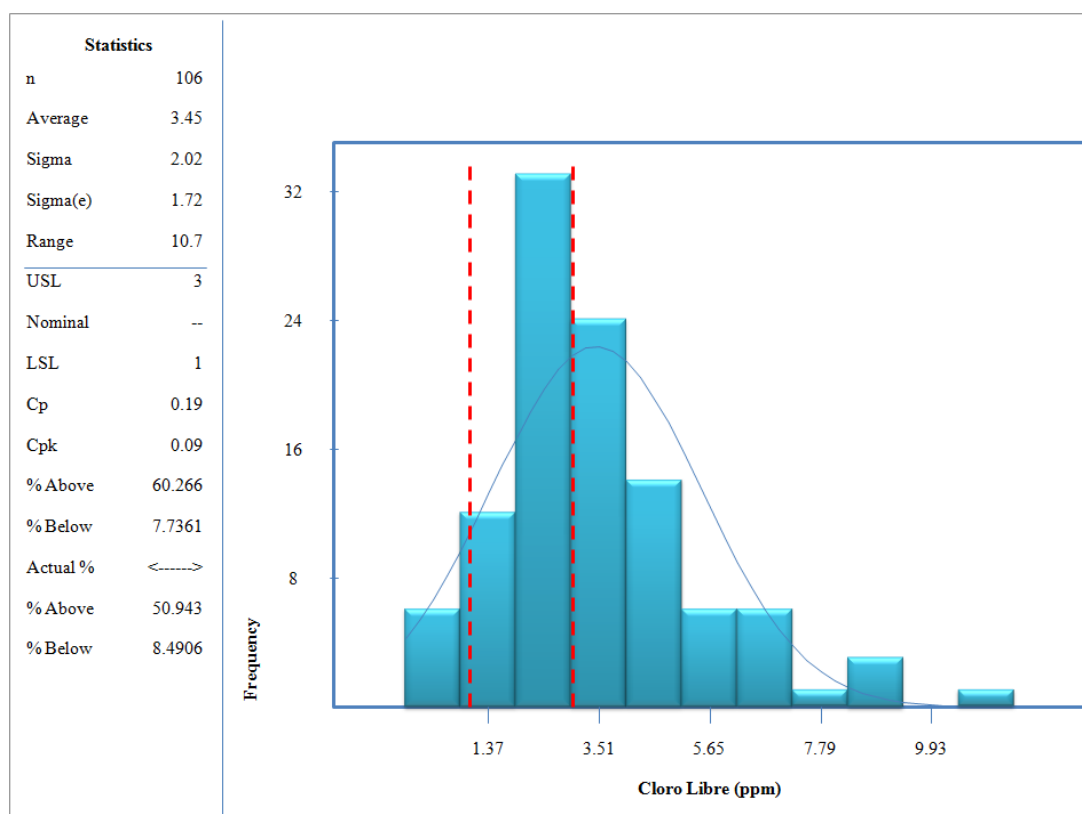
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIX. Datos del gráfico de control del cloro libre en agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,30 – 11,0] ppm
	Promedio	6,91 ppm

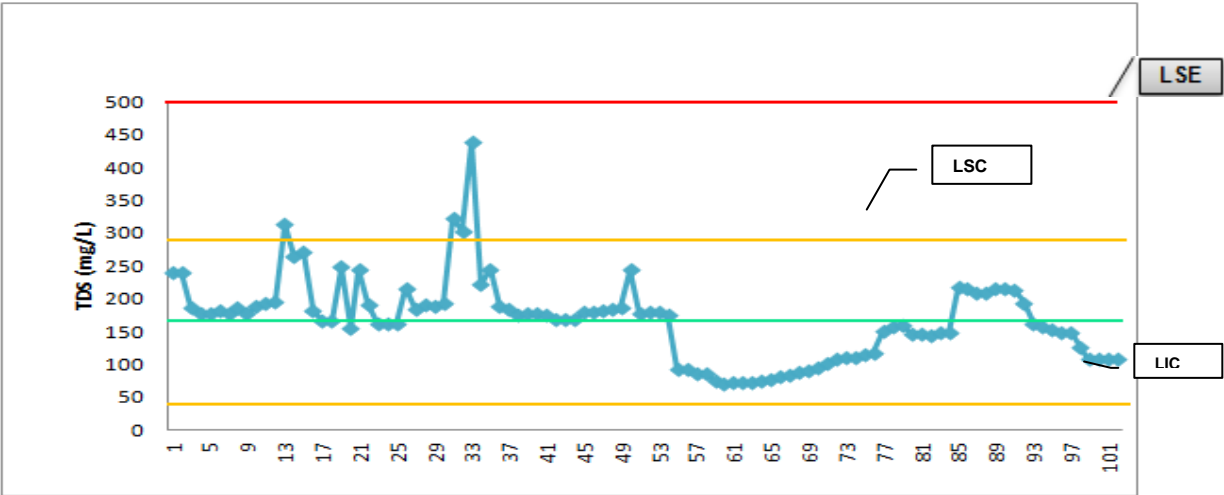
Fuente: elaboración propia.

Figura 123. Histograma del cloro libre en el agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



Fuente: elaboración propia.

Figura 124. Gráfico de control de sólidos totales disueltos del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora



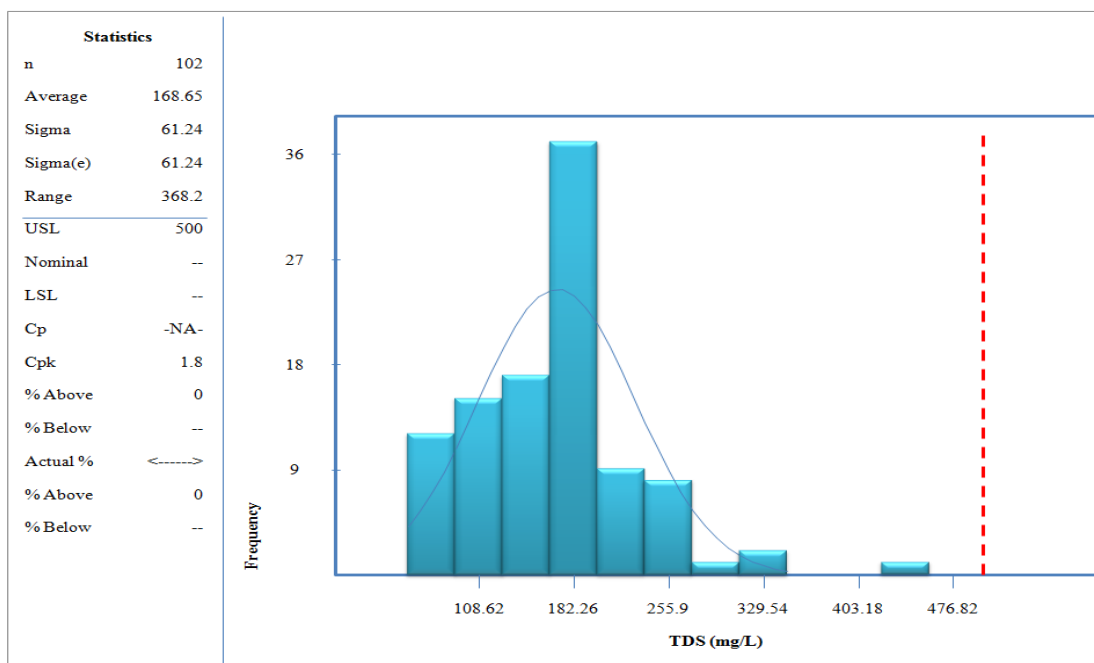
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXX. Datos del gráfico de control de la temperatura del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora

Color	Descripción	Rango
	TDS (mg/L)	[71,8 – 440,0] mg/L
	Promedio	168,65 mg/L

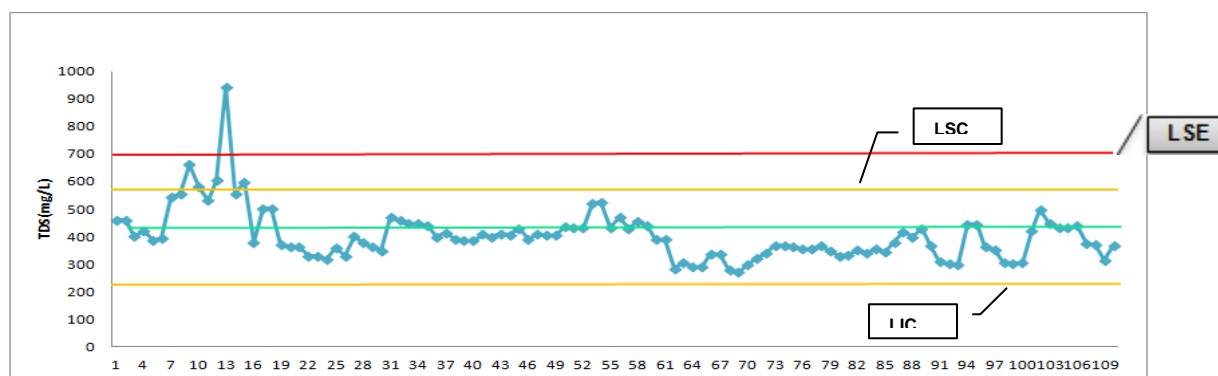
Fuente: elaboración propia.

Figura 125. **Histograma de sólidos totales disueltos del agua recuperada en entrada de chorros de enjuague en lavadora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 126. **Gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación**



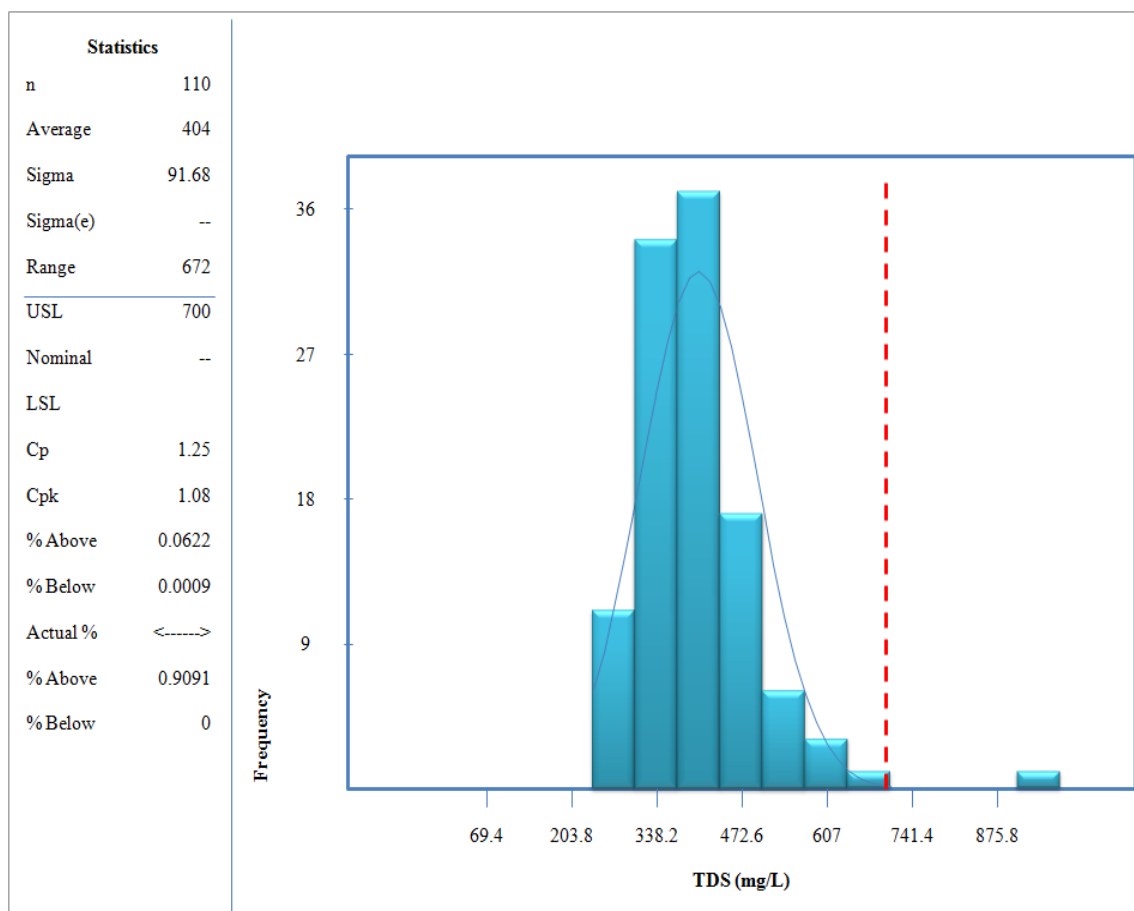
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. Datos del gráfico de control de TDS del agua en tanque de captación

Color	Descripción	Rango
	Sólidos totales disueltos (mg/L)	[62 - 943] mg/L
	Promedio	404,0 mg/L

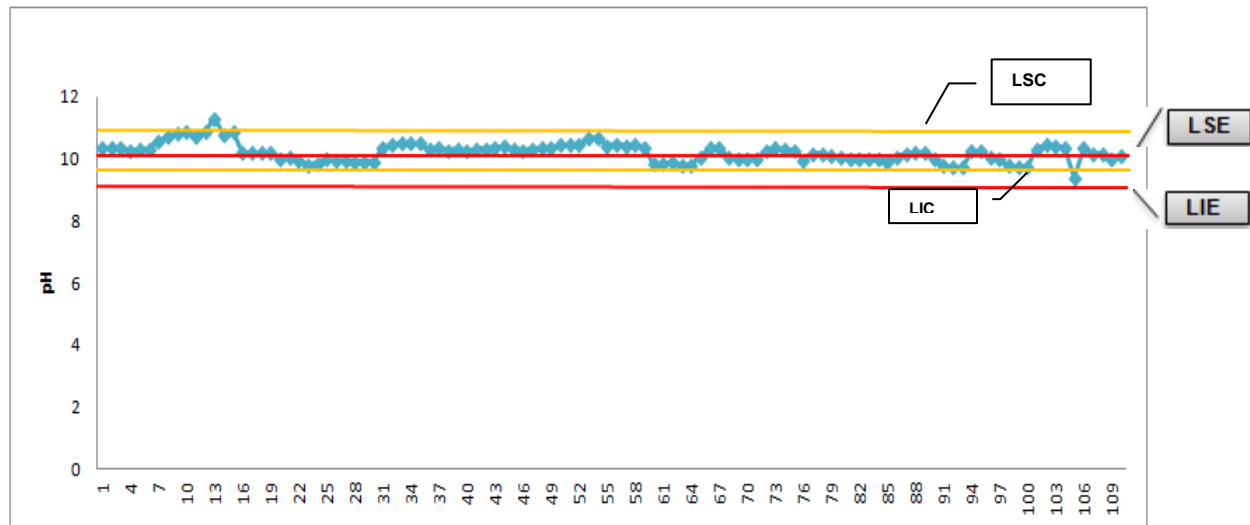
Fuente: elaboración propia.

Figura 127. Histograma de TDS del agua en tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 128. Gráfico de control del pH en el tanque de captación



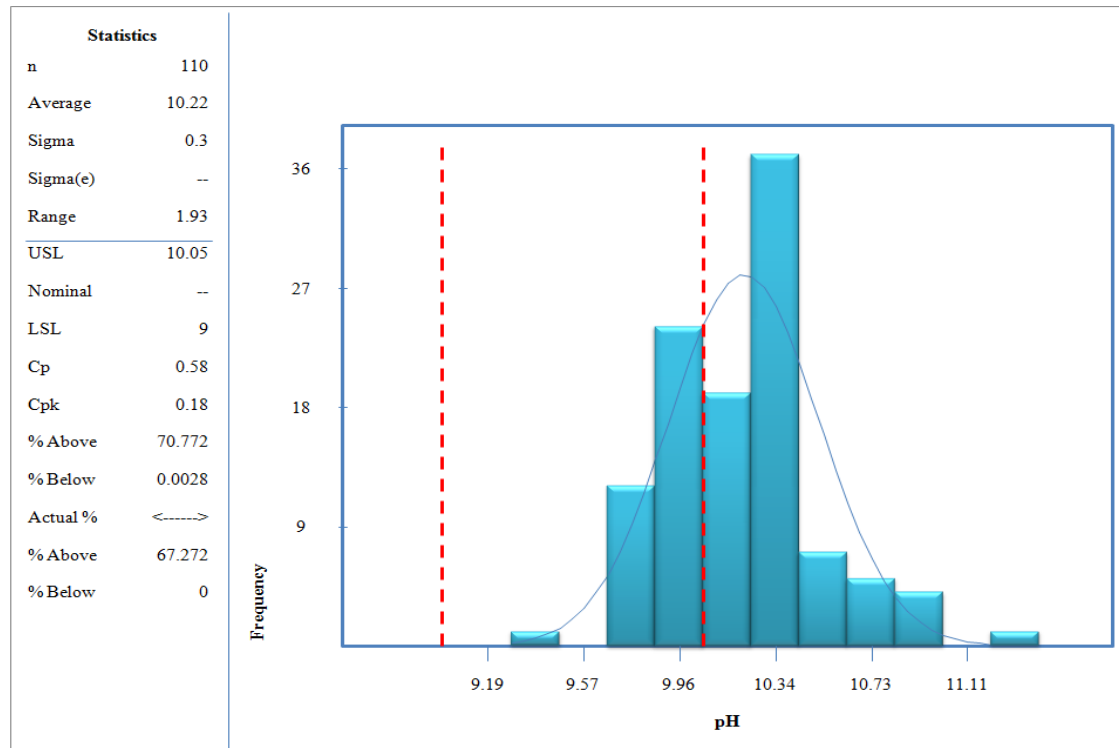
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXII. Datos del gráfico de control del pH en el tanque de captación

Color	Descripción	Rango
	pH	[10,0 – 22,0]
	Promedio	10,82

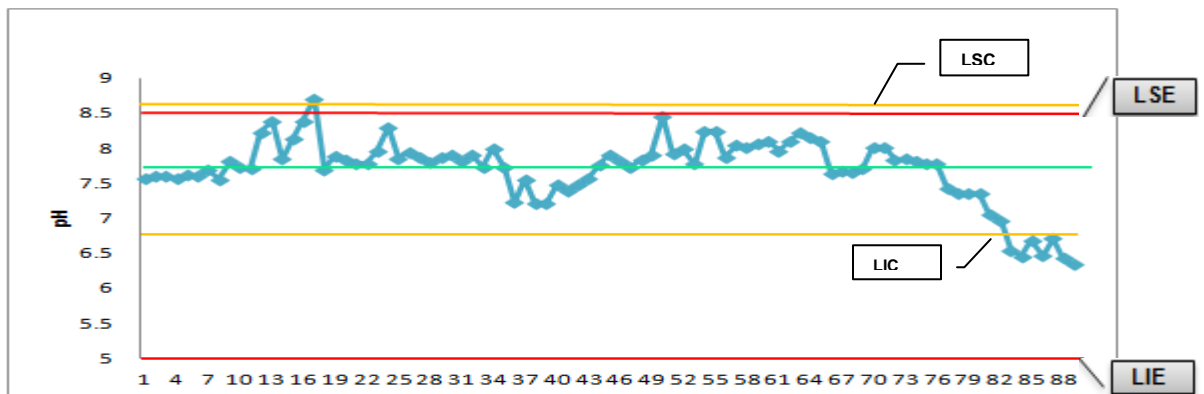
Fuente: elaboración propia.

Figura 129. Histograma del pH en el tanque de captación



Fuente: elaboración propia.

Figura 130. Gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento



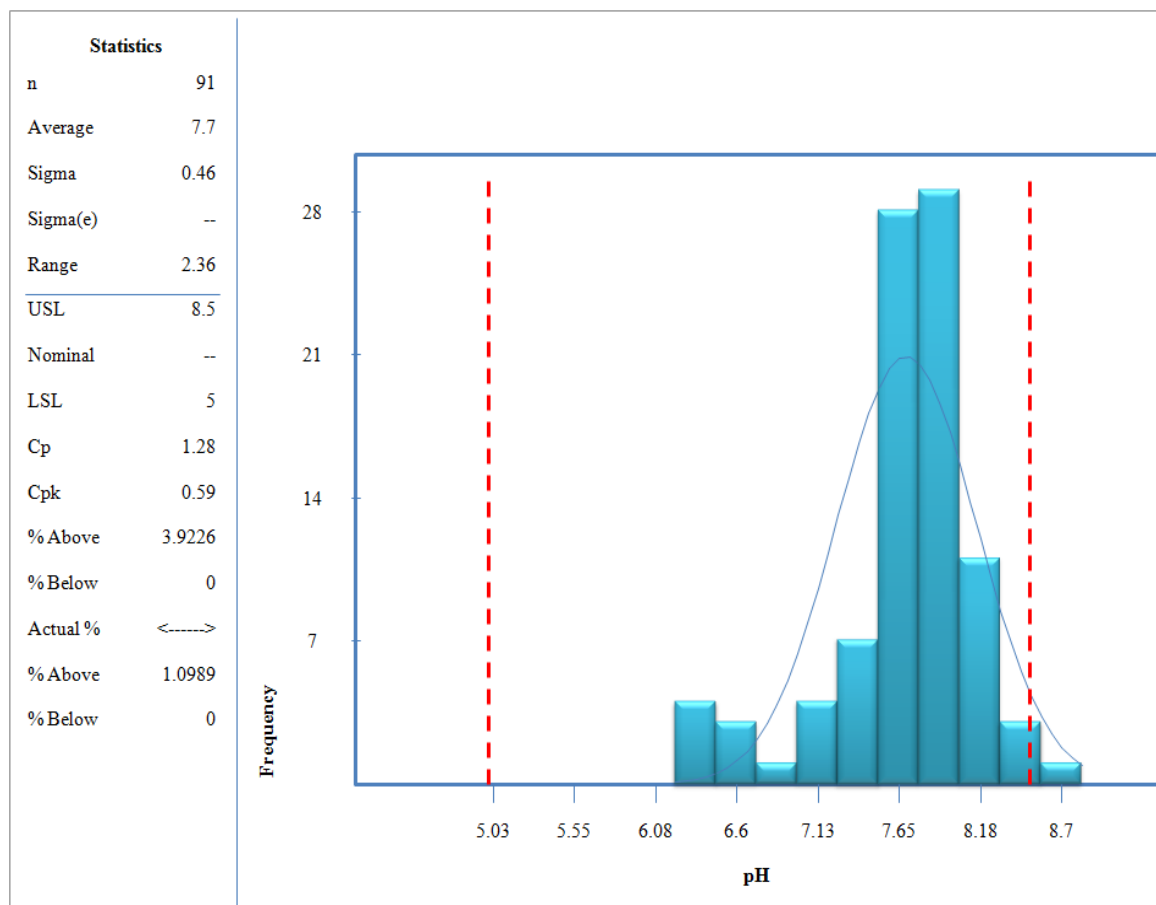
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIII. Datos del gráfico de control del pH en el tanque de almacenamiento

Color	Descripción	Rango
	pH	[6,34 – 8,45]
	Promedio	7,70

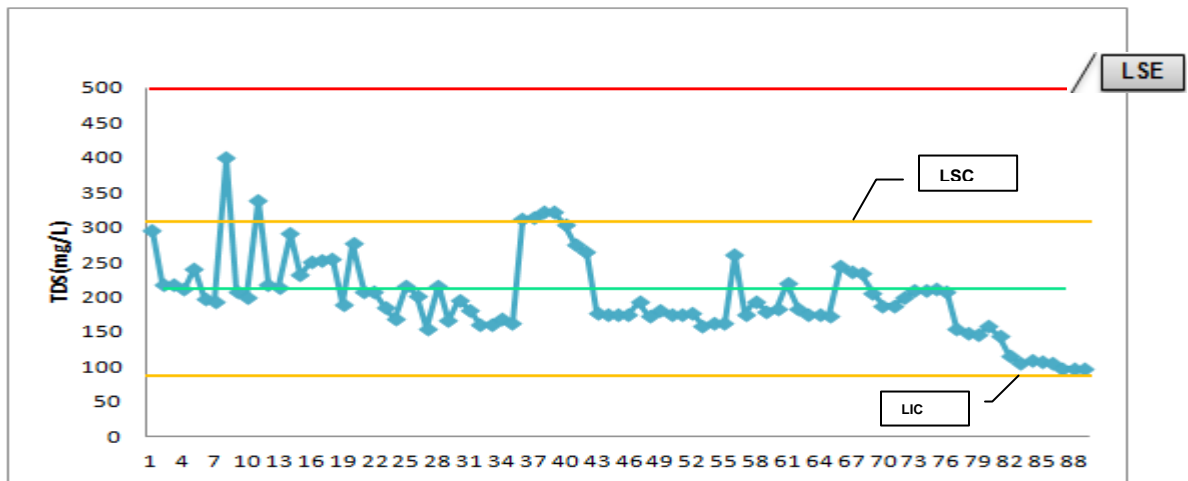
Fuente: elaboración propia.

Figura 131. Histograma del pH en el tanque de almacenamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 132. **Gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**



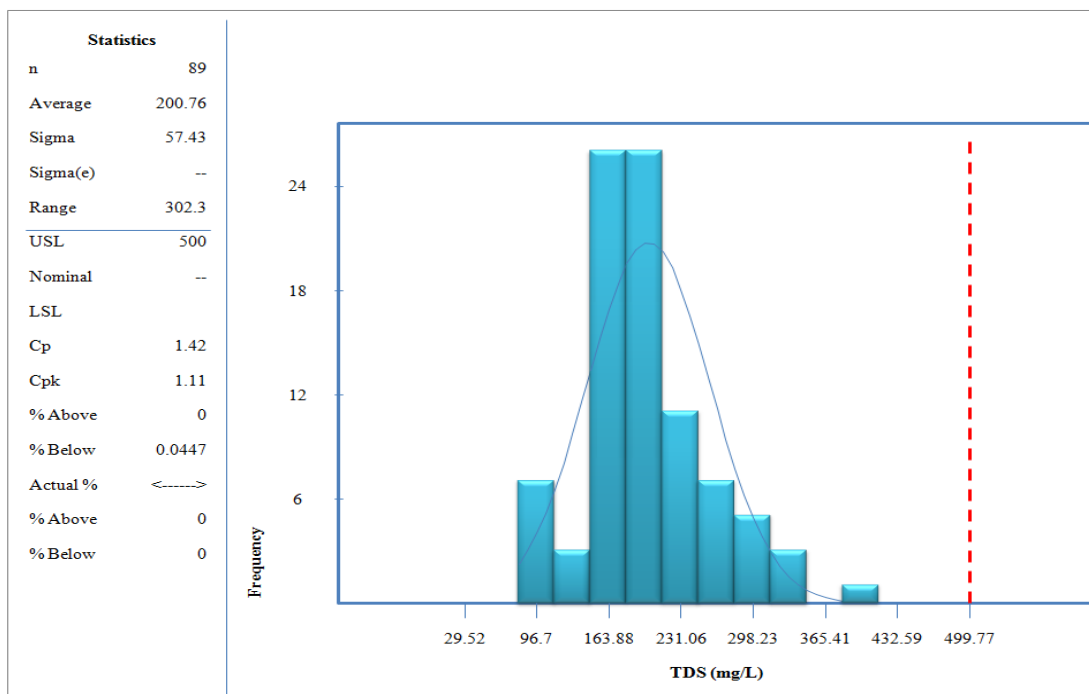
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIV. **Datos del gráfico de control de sólidos totales disueltos en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	TDS (mg/L)	[96,7 – 399,0] mg/L
	Promedio	200,76 mg/L

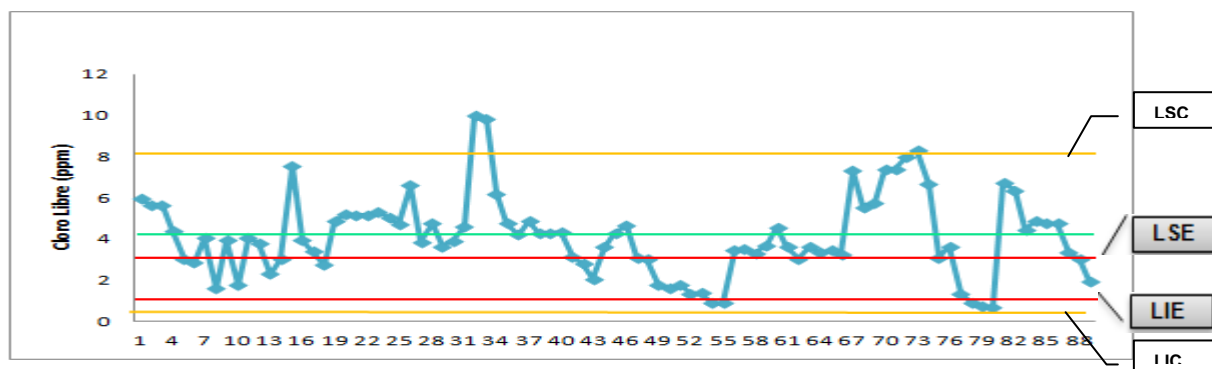
Fuente: elaboración propia.

Figura 133. **Histograma de TDS en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 134. **Gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



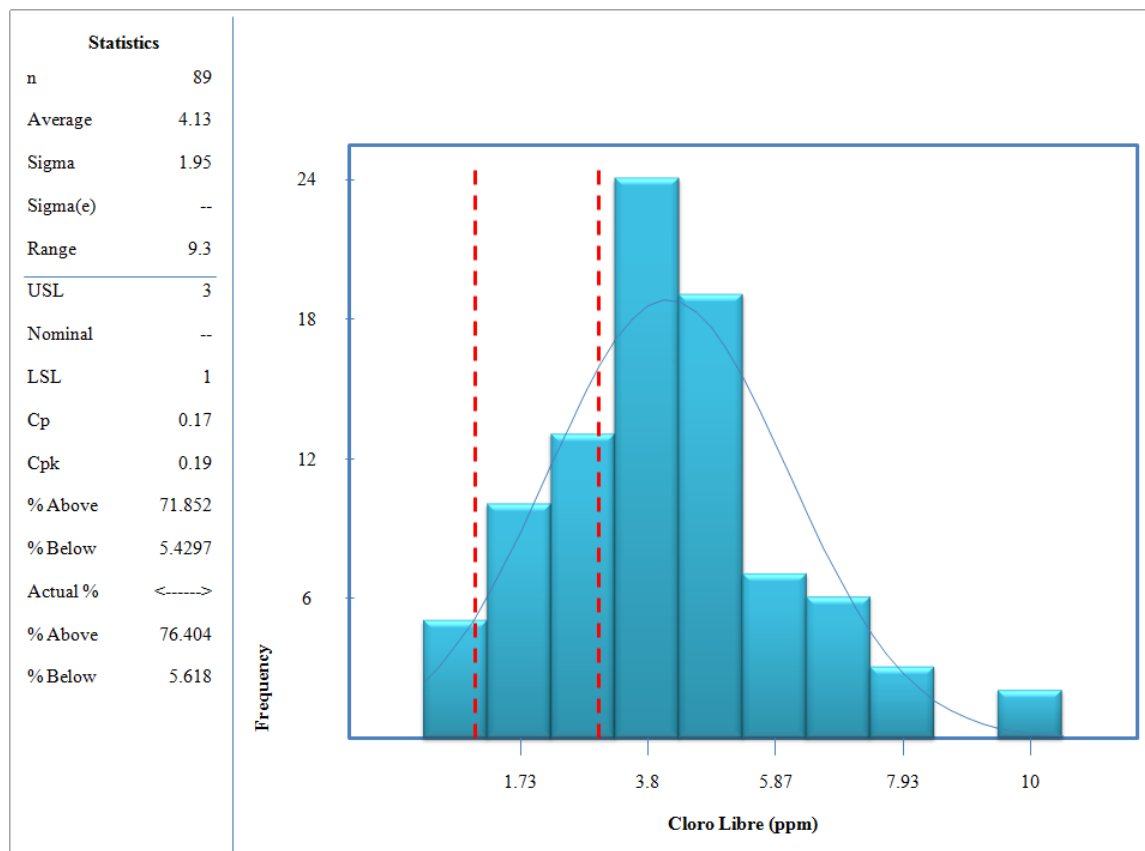
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXV. **Datos del gráfico de control del cloro libre en el tanque de almacenamiento**

Color	Descripción	Rango
	Cloro libre (ppm)	[0,70 – 10,0] ppm
	Promedio	4,13 ppm

Fuente: elaboración propia.

Figura 135. **Histograma del cloro libre en el tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Consumo de agua suave en el área de lavado de envases

El consumo de agua suave se distribuye de la misma forma en ambas líneas (1 y 3). La lavadora se abastece de un caudal de agua suave y un caudal de agua recuperada, se recupera parte del consumo total por medio del sistema de recuperación de agua de lavadora y el resto de agua que no es posible recuperar se envía a drenajes tal y como se muestra en la figura 13.

Por medio de las mediciones diarias establecidas se obtuvo el balance general del consumo de agua suave, en la tabla XII. se muestra que en la línea 3 se tiene un consumo total de 2 800 metros cúbicos al mes de los cuales el 61% es de agua suave y el 39% de agua recuperada, de ese total de agua el 49% equivalente a 1 360 m³/mes se envían al drenaje después de haber cumplido la siguiente distribución: tanque de pre-enjuague de lavado de envases, suministro destinado a lavar las cajas en las que se transportan los envases, descargas necesarias para el funcionamiento de lavadora y pérdidas durante el proceso de recuperación de agua de lavadoras. Siendo recuperado el 51% del total de agua que ingresa a lavadora lo que equivale a 1 440 m³/mes.

La línea 1 trabaja aproximadamente cinco días al mes lo cual hace que el consumo total de agua sea de 546 m³/mes equivalente al 19.5% del agua consumida en la línea 3, como se muestra en la tabla XIII. El 76% del consumo total es de agua suave y el 24% de agua recuperada, de ese total de agua el 90% equivalente a 493 m³/mes se envían al drenaje después de haber

cumplido con la distribución antes mencionada. Siendo recuperado el 10% del total de agua que ingresa a lavadora lo que equivale a 53 m³/mes.

Comparando línea 1 y línea 3 se observa que el consumo de la línea 1 no es significativo pero sin embargo se tiene el menor porcentaje de recuperación, esto se debe a que el tanque de captación de dicha línea es de menor capacidad que el de la línea 3 y se ha programado el sistema de recuperación de agua de lavadoras para que la bomba que trasiega el flujo del tanque de captación de la línea 1 al tanque de captación de la línea 3 no funcione si el sistema de recuperación de agua de lavadoras no está funcionando, lo cual conlleva a que el agua que está siendo captada de lavadora sea desechada al estar lleno el tanque de captación. Para entender mejor el funcionamiento de lavadora vea el Apéndice 3.1.

5.2. Consumo de agua estándar para lavado de envases y porcentaje a recuperar

La tabla XIV muestra el consumo de agua estándar para lavado de envases, el cual por especificación técnica de lavadora es de 350 ml por envase, pero en base al total de agua utilizada y al número de envases contabilizados durante el tiempo de monitoreo se estimó que el consumo estándar de agua es de 495 ml por envase, dicha fluctuación de 145 ml por envase se debe a la falta de un proceso continuo para el lavado de envases. Esto refleja una oportunidad de reducción de consumo de agua de 782 m³/mes.

En la tabla XV se muestra que el consumo estándar de agua al mes es de 61% agua suave y 39% agua recuperada, el estándar esperado era de un 60% agua recuperada y en un 40% agua suave pero dicho fin no se logró debido a que el sistema de recuperación de agua y la lavadora no trabajan de forma

continua y simultáneos. El incumplimiento del estándar esperado refleja una oportunidad de reducción de consumo de agua en distribución de 20 m^3 por día correspondiente a 452 m^3 al mes.

En la tabla XVI se muestra que el consumo estándar de agua en la línea 1 es de 76% de agua suave y de 24% de agua recuperada, la oportunidad de dicha línea fue incluida en la oportunidad calculada en la tabla anterior, ya que por sí sola la línea uno no es capaz de abastecer al sistema de recuperación.

Con los datos obtenidos se observa que la oportunidad de reducción de agua por consumo estándar de lavado de envase (782 m^3) y de abastecimiento de agua recuperada a lavadora (452 m^3) equivale a $1\,234 \text{ m}^3$.

5.3. Indicador de consumo de agua

Se utilizó un indicador de consumo de agua para comparar si hubo un ahorro al implementar el sistema de recuperación de agua.

En la tabla XVII se muestra que el indicador promedio antes de ser implementado el sistema de recuperación de agua de lavadora era de 2,23 litros de agua consumida por litro de bebida producida y luego de ser implementado el sistema de recuperación de agua se obtuvo un indicador promedio de 2,12 litros de agua consumida por litros de bebida producida lo cual equivale a una reducción de 0,11 puntos del indicador equivalente a $1\,197 \text{ m}^3$ por mes durante los 4 meses a partir de la implementación del sistema de recuperación. Con lo cual se fundamenta la importancia de la implementación del sistema de recuperación de lavadora.

5.4. Parámetros que caracterizan el agua de lavadora

La lavadora se abastece de agua suave y agua recuperada como se ha mencionado a lo largo del trabajo, dentro de los parámetros de interés que caracterizan el agua de lavadora fueron necesarios analizarse pueden mencionar: para agua suave, tabla XVIII, el promedio de: pH, cloro libre, sólidos totales disueltos y temperatura todos cumpliendo especificación.

Para agua recuperada, tabla XIX, el promedio de: pH, cloro libre si cumplen especificación pero como se verá más adelante el cloro libre no es estable por lo que en la mayoría de las mediciones realizadas estaba fuera de especificación. En cuanto al promedio de temperatura y sólidos totales disueltos no cumple especificación, por lo que se realizó una evaluación del funcionamiento del sistema de recuperación para identificar las causas de que éste no cumpliera con las especificaciones técnicas requeridas por la marca registrada.

5.5. Sistema de recuperación de agua de lavadoras

En los gráficos de control del proceso que se muestran en la sección 4.5., se observan las líneas de los límites de especificación (LSE, LIE), las líneas de los límites de control (LSC, LIC) y el promedio de los parámetros de interés, las tablas de dicha sección muestran el rango y el promedio de cada uno de los parámetros a evaluar. A la vez se realizaron los gráficos de capacidad del proceso en las cuales al lado izquierdo se presentan los valores de C_p y C_{p_k} de cada uno de los parámetros.

La evaluación del sistema de recuperación se dividió en casos en los cuales se fueron realizando ciertos cambios y luego se analizó como estos cambios repercutían en los parámetros de interés. A continuación se describe cada caso y los parámetros en los puntos de muestro establecidos dentro de los sistemas Lavadoras – Recuperación de agua de lavadora.

✓ Caso 1, sección 4.5.1, el monitoreo inicial trabajando solo la línea 3 se realizó en los siguientes puntos de muestreo:

➤ Tanque de lavadora

Se monitoreo la concentración de agente acomplejante (EDTA) añadido a lavadora para capturar los metales pesados, figura 14 y tablas XX – XXI, muestra que es estable y el promedio al igual que los límites de control se encuentra dentro de los límites de especificación. Siendo su C_p de 0,8 y su C_{p_k} de 0,71 menores que 1,30 por lo que se considera que el proceso no es capaz a pesar de ser estable.

➤ Chorros de enjuague en lavadora

Se monitoreo el pH, cloro libre (ppm) y temperatura (°c), figura 15 a figura 20 y tabla XXII a tabla XXIV, mostrando que el pH posee límites de control y promedio dentro de los límites de especificación y se considera un proceso capaz ya que tiene un C_p y C_{p_k} mayor que 1. El cloro libre es inestable, posee el límite de control inferior por debajo del límite de especificación inferior y su promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos. La temperatura es inestable, posee el límite de control superior y el promedio por encima del límite de especificación. Siendo éstos dos últimos procesos no capaces ya que tienen su C_p y C_{p_k} menores que 1.

➤ Tanque de captación de agua a recuperar

Se monitoreo TDS (mg/L), concentración de soda (%), pH y temperatura (°C), figura 21 a figura 28 y tabla XXV a tabla XXVIII., mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un Cp_k menor que 1.

TDS son inestables, poseen los límites de control y el promedio por encima del límite de especificación. Concentración de soda es relativamente estable los datos obtenidos tienden al límite de especificación inferior, posee el promedio dentro de los límites de especificación. El pH es inestable, posee el límite de control inferior por debajo del límite de especificación inferior y su promedio dentro de los límites de especificación debido a la variación de los datos. La temperatura es inestable, posee límites de control entre 30 y 40°C no se cuenta con especificaciones técnicas establecidas pero por motivos de cálculo y en base a la capacidad de la torre se establecieron límites de especificación de 30 a 37°C para el cálculo de Cp y Cp_k .

➤ Torre de enfriamiento

Se monitoreo temperatura de entrada (°C) y temperatura de salida (°C), figura 29 a figura 32 y tabla XXIX a tabla XXX, mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un Cp y Cp_k menor que 1. Temperatura de entrada es inestable inicia en valores bajos y aumenta al pasar el tiempo, posee los límites de control y el promedio por encima de los límites de especificación. Temperatura de salida es inestable al igual que a la entrada los valores aumentan al pasar el tiempo, posee los límites de control y el promedio fuera de los límites de especificación, por lo que se comprueba que guardan relación una temperatura con la otra.

➤ Tanque de almacenamiento de agua recuperada

Se monitoreo pH, TDS (mg/L), cloro libre (ppm) y temperatura (°C), figura 33 a figura 40 y tabla XXXI a tabla XXXIV, mostrando que dicho proceso es capaz en cuanto a parámetro de pH puesto que tiene un C_p y C_{p_k} mayor a 1 pero no es capaz en cuanto a los parámetros de TDS, Cloro libre y temperatura puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1.

El pH es relativamente estable posee sus límites de control y el promedio dentro de los límites de especificación. TDS son inestables, poseen los límites de control y el promedio por encima del límite de especificación. Cloro libre es inestable, posee el promedio por debajo del límite de especificación inferior. La temperatura es inestable tiende a aumentar conforme pasa el tiempo, posee límites de control y promedio por encima de los límites de especificación. Los límites de especificación para la temperatura fueron establecidos según especificaciones de chorros de entrada de lavadora las cuales establecen que el agua que entra en los chorros de lavadora debe estar a temperatura ambiente.

- ✓ Caso 2, sección 4.5.2., el monitoreo inicial trabajando línea 3 y línea 1 se realizó en los siguientes puntos de muestreo:

➤ Tanque de lavadora

Se monitoreo la concentración de agente acomplejante (EDTA), figura 41 y tablas XXXV - XXXVI, muestra que es estable el promedio se encuentra dentro de los límites de especificación pero los límites de control fuera de los límites de especificación. Siendo su C_p de 0,47 y su C_{p_k} de 0,35 menores que 1,30 por lo que se considera que el proceso no es capaz a pesar de ser estable.

➤ Chorros de enjuague en lavadora

Se monitoreo el pH, cloro libre (ppm) y temperatura (°C), figura 42 a figura 47 y tabla XXXVII a tabla XXXIX, mostrando que el pH es inestable, posee límites de control y promedio dentro de los límites de especificación y se considera un proceso capaz ya que tiene un C_p y C_{p_k} mayor que 1. El cloro libre es inestable, posee el límite de control inferior por debajo del límite de especificación inferior y su promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos. La temperatura es inestable, posee el límite de control superior y el promedio por encima del límite de especificación. Siendo éstos dos últimos procesos no capaces ya que tienen su C_p y C_{p_k} menores que 1.

➤ Tanque de captación de agua a recuperar

Se monitoreo TDS (mg/L), concentración de soda (%), pH y temperatura (°C), figura 48 a figura 55 y tabla XL. a tabla XLIII., mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un C_{p_k} menor que 1.

TDS son inestables, posee el límite de control superior por encima del límite de especificación y el promedio dentro del límite de especificación esto se debe a la variación de los datos. Concentración de soda es inestable los datos obtenidos tienden al límite de especificación inferior, posee el promedio debajo del límite de especificación inferior. El pH es inestable, posee el límite de control inferior y el promedio por debajo del límite de especificación inferior. La temperatura es inestable aumenta con el pasar del tiempo, posee límites de control entre 30 y 45°C.

➤ Torre de enfriamiento

Se monitorea temperatura de entrada (°C) y temperatura de salida (°C), figura 56 a figura 59 y tabla XLIV a tabla XLV, mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1.

Temperatura de entrada es inestable inicia en valores bajos y aumenta al pasar el tiempo, posee los límites de control fuera de los límites de especificación y el promedio por encima del límite de especificación superior. Temperatura de salida es inestable al igual que a la entrada los valores aumentan al pasar el tiempo, posee los límites de control fuera de los límites de especificación y el promedio fuera del límite de especificación superior, por lo que se comprueba que guardan relación una temperatura con la otra.

➤ Tanque de almacenamiento de agua recuperada

Se monitorea pH, TDS (mg/L), cloro libre (ppm) y temperatura (°C), figura 60 a figura 67 y tabla XLVI a tabla XLIX, mostrando que dicho proceso es capaz en cuanto a parámetro de pH puesto que tiene un C_p y C_{p_k} mayor a 1 pero no es capaz en cuanto a los parámetros de TDS, cloro libre y temperatura puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1.

El pH es inestable la tendencia de sus valores es hacia el límite de especificación superior, posee sus límites de control y el promedio dentro de los límites de especificación. TDS son inestables inicia con valores bajos y aumentan al pasar el tiempo, posee el límite de control superior y el promedio por encima del límite de especificación. Cloro libre es inestable, posee valores por encima y en su mayoría por debajo de los límites de especificación y el promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de sus datos. La temperatura es inestable tiende a aumentar conforme pasa el tiempo,

posee límite de control superior y promedio por encima del límite de especificación superior.

- ✓ Caso 3, sección 4.5.3., se estableció como medida de corrección de la temperatura la fijación de chorros de enjuague (antes movibles) y la observación de los parámetros de interés, el monitoreo se realizó en los siguientes puntos de muestreo:

- Chorros de enjuague en lavadora

Se monitoreo el pH, cloro libre (ppm) y temperatura (°C), figura 68. a figura 73 y tabla L a tabla LII, mostrando que el pH es inestable, posee límites de control y promedio dentro de los límites de especificación y se considera un proceso capaz ya que tiene un C_p y C_{p_k} mayor que 1.

El cloro libre es inestable tiene la mayoría de sus valores por debajo del límite de especificación inferior, posee los límites de control fuera de los límites de especificación y su promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos. La temperatura es inestable aumenta al pasar el tiempo, posee el límite de control superior y el promedio por encima del límite de especificación. Siendo éstos dos últimos procesos no capaces ya que tienen su C_p y C_{p_k} menores que 1.

- Tanque de captación de agua a recuperar

Se monitoreo TDS (mg/L), concentración de soda (%), pH y temperatura (°C), figura 74 a figura 81 y tabla LIII a tabla LVI, mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un C_{p_k} menor que 1.

TDS son inestables, posee el límite de control superior por encima del límite de especificación y el promedio dentro del límite de especificación. Concentración de soda es relativamente estable los datos obtenidos tienden al límite de especificación inferior, posee el promedio debajo del límite de especificación inferior. El pH es inestable, posee el límite de control superior por encima del límite de especificación superior y el promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos. La temperatura es inestable aumenta con el pasar del tiempo, posee límites de control entre 30 y 45°C y un promedio de 37°C.

➤ Torre de enfriamiento

Se monitorea temperatura de entrada (°C) y temperatura de salida (°C), figura 82 a figura 85 y tabla LVII a tabla LVIII, mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1.

Temperatura de entrada es inestable inicia en valores bajos y aumenta al pasar el tiempo y tienden a superar el límite de especificación superior, posee los límites de control fuera de los límites de especificación y el promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos. Temperatura de salida es inestable al igual que a la entrada los valores aumentan al pasar el tiempo, posee los límites de control fuera de los límites de especificación y el promedio dentro de los límites de especificación, por lo que se comprueba que guardan relación una temperatura con la otra.

➤ Tanque de almacenamiento de agua recuperada

Se monitorea pH, TDS (mg/L), cloro libre (ppm) y temperatura (°C), figura 86 a figura 93 y tabla LIX a tabla LXII, mostrando que dicho proceso es capaz en cuanto a parámetro de pH puesto que tiene un C_p y C_{p_k} mayor a 1 pero no

es capaz en cuanto a los parámetros de TDS, cloro libre y temperatura puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1.

El pH es inestable, posee sus límites de control y el promedio dentro de los límites de especificación. TDS son inestables inicia con valores bajos y aumentan al pasar el tiempo, posee el límite de control superior y el promedio por encima del límite de especificación. Cloro libre es inestable, posee valores por encima y en su mayoría por debajo de los límites de especificación y el promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de sus datos. La temperatura es inestable inicia con valores bajos y tiende a aumentar conforme pasa el tiempo, posee límites de control fuera de los límites de especificación y promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos.

- ✓ Caso 4, sección 4.5.4., se estableció como medida de corrección de la temperatura establecer el tanque 3 de lavadoras como secundario (disminuyendo la temperatura de 60°C a 48°C) y la observación de los parámetros de interés, el monitoreo se realizó en los siguientes puntos de muestreo:

- Tanque de lavadora

Se monitoreo la concentración de agente acomplejante (EDTA), figura 94 y tablas LXIII - LXIV, muestra que es inestable el promedio se encuentra dentro de los límites de especificación pero los límites de control se encuentran fuera de los límites de especificación. Siendo su C_p de 0,32 y su C_{p_k} de 0,45 menores que 1,30 por lo que se considera que el proceso no es capaz.

➤ Chorros de enjuague en lavadora

Se monitoreo el pH, cloro libre (ppm) y temperatura (°C), figura 95 a figura 100 y tabla LXV a tabla LXVII, mostrando que el pH es inestable, posee limites de control y promedio dentro de los límites de especificación. El cloro libre es inestable tiene la mayoría de sus valores por debajo del límite de especificación inferior, posee los límites de control fuera de los límites de especificación y su promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos. La temperatura es inestable aumenta al pasar el tiempo, posee el límite de control superior y el promedio por encima del límite de especificación. Siendo éstos procesos no capaces ya que tienen su C_p y C_{p_k} menores que 1.

➤ Tanque de captación de agua a recuperar

Se monitoreo TDS (mg/L), pH y temperatura (°C), figura 101 a figura 106 y tabla LXVIII a tabla LXX, mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un C_{p_k} menor que 1. TDS son inestables, posee el límite de control superior por encima del límite de especificación y el promedio dentro del límite de especificación. El pH es inestable muchos de los valores se encuentran debajo del límite de especificación inferior, posee los límites de control fuera de los límites de especificación. La temperatura es inestable aumenta con el pasar del tiempo, posee límites de control entre 30 y 45°C y un promedio de 35°C.

➤ Torre de enfriamiento

Se monitoreo temperatura de entrada (°C) y temperatura de salida (°C), figura 107 a figura 110 y tabla LXXI a tabla LXXII, mostrando que dicho proceso no es capaz en ninguno de los parámetros antes mencionados puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1.

Temperatura de entrada es inestable inicia en valores bajos y aumenta al pasar el tiempo y tienden a superar el límite de especificación superior, posee los límites de control fuera de los límites de especificación y el promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos. Temperatura de salida es inestable al igual que a la entrada los valores aumentan al pasar el tiempo, posee el límite de control superior y el promedio fuera del límite de especificación superior, por lo que se comprueba que guardan relación una temperatura con la otra.

➤ Tanque de almacenamiento de agua recuperada

Se monitorea pH, TDS (mg/L), cloro libre (ppm) y temperatura (°C), figura 111 a figura 118 y tabla LXXIII a tabla LXXVI, mostrando que dicho proceso es capaz en cuanto a parámetro de pH puesto que tiene un C_p y C_{pk} mayor a 1 pero no es capaz en cuanto a los parámetros de TDS, Cloro libre y Temperatura puesto que tienen un C_p y C_{pk} menor que 1.

El pH es inestable, posee sus límites de control y el promedio dentro de los límites de especificación. TDS son inestables inicia con valores bajos y aumentan al pasar el tiempo, posee el límite de control superior y el promedio por encima del límite de especificación. Cloro Libre es inestable, posee valores por encima y en su mayoría por debajo de los límites de especificación y el promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de sus datos. La temperatura es inestable inicia con valores bajos y tiende a aumentar conforme pasa el tiempo, posee límites de control fuera de los límites de especificación y el promedio dentro de los límites de especificación debido a la variabilidad de los datos.

- ✓ Caso 5, sección 4.5.5., se estableció como medida de corrección suspender uso de aditivos químicos de lavadora (agente acomplejante) y realizar la observación de los parámetros de interés, el monitoreo se realizó en los siguientes puntos de muestreo:

- Tanque de lavadora

Se monitoreo la concentración de agente acomplejante (EDTA), figura 119 y tablas LXXVII, muestra que es estable en el valor de 1,64 ppm cuando su valor era en realidad de 0,0 ppm puesto que no se añadió dicho componente durante el tiempo de muestreo. Con lo que se determinó que el método de medición del agente acomplejante no era el adecuado y se pidió a los proveedores evaluar otro método de medición.

- Chorros de enjuague en lavadora

Se monitoreo el pH, cloro libre (ppm) y TDS (mg/L), figura 120 a figura 125 y tabla LXXVIII a tabla LXXX, mostrando que el pH es inestable y tiende al límite superior de especificación, posee límite de control superior fuera del límite de especificación superior y el promedio dentro de los límites de especificación. El cloro libre es inestable tiene la mayoría de sus valores por encima del límite de especificación superior, posee los límites de control y su promedio fuera de los límites de especificación, con dicha medida correctiva se disminuyeron la carrera de las bombas que trasiegan cloro de 180/75 a 20/30 lo que demuestra el ahorro de cloro añadido al tanque de almacenaje. Los TDS son inestables, posee los límites de control y el promedio dentro del límite de especificación.

Dentro del proceso los parámetros de pH y cloro libre no son capaces ya que tienen su C_p y C_{p_k} menores que 1, mientras que los TDS son capaces puesto que tienen un valor de C_{p_k} mayor a 1.

➤ Tanque de captación de agua a recuperar

Se monitoreo TDS (mg/L) y pH, figura 126 a figura 129 y tabla LXXXI a tabla LXXXII, mostrando que dicho proceso no es capaz en cuanto al pH puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1, mientras que es capaz en cuanto a TDS puesto que tiene un C_p mayor de 1. TDS son inestables, posee el límite de control y el promedio dentro del límite de especificación. El pH es inestable muchos de los valores se encuentran por encima del límite de especificación superior, posee el límite de control superior y el promedio fuera del límite de especificación superior.

➤ Tanque de almacenamiento de agua recuperada

Se monitoreo pH, TDS (mg/L) y cloro libre (ppm), figura 130 a figura 135 y tabla LXXXIII a tabla LXXXV, mostrando que dicho proceso es capaz en cuanto a parámetro de TDS puesto que tiene un C_p y C_{p_k} mayor a 1 pero no es capaz en cuanto a los parámetros de pH y cloro libre puesto que tienen un C_p y C_{p_k} menor que 1.

El pH es inestable tiende al límite de control superior, posee su límite de control superior fuera del límite de especificación superior y el promedio dentro de los límites de especificación. TDS son inestables, posee el límite de control y el promedio dentro del límite de especificación. Cloro libre es inestable la mayoría de los valores se encuentran por encima del límite de especificación superior, posee límites de control fuera de los límites de especificación y el promedio por encima del límite de especificación superior. A pesar que el cloro libre no cumple especificación se observa valores más altos de los recopilados en los casos anteriores lo que indica que el EDTA enmascara la presencia del cloro libre ante el método de medición con el reactivo DPD.

CONCLUSIONES

1. El consumo total en la línea 3 del área de lavado de envases de una embotelladora de bebidas carbonatadas es de 2 800 metros cúbicos al mes de los cuales se recuperan 1 440 metros cúbicos al mes y se desechan 1 360 metros cúbicos al mes.
2. El consumo total en la línea 1 del área de lavado de envases de una embotelladora de bebidas carbonatadas es de 546 metros cúbicos al mes de los cuales se recuperan 53 metros cúbicos al mes, siendo de menor importancia puesto que dicha línea trabaja aproximadamente 5 días al mes.
3. El consumo de agua suave por envase es mayor que el consumo de agua especificado por lavadora, lo que genera una oportunidad de reducción de 782 metros cúbicos al mes.
4. El sistema de recuperación de agua lavadora y la lavadora no trabajan de forma continua y simultanea, por lo que el porcentaje de consumo estándar de agua recuperada es de 39% al mes y no de 60% como se había establecido.
5. Se estima que la oportunidad de reducción de consumo de agua por consumo estándar de lavado de envase y de abastecimiento de agua recuperada a lavadora es de 1 234 metros cúbicos al mes.

6. El sistema de recuperación de agua de lavadoras genera un impacto positivo en la reducción de consumo de agua suave en el área de lavado de envase, pues se obtuvo un indicador de 2,23 L agua/ L bebida sin sistema y un indicador de 2,12 L agua/ L bebida con el sistema.
7. Los parámetros que caracterizan el agua suave cumplen especificaciones requeridas por la marca registrada.
8. Los parámetros que caracterizan el agua recuperada no cumplen especificaciones requeridas por la marca registrada.
9. La torre de enfriamiento del sistema de recuperación de agua de lavadoras no es capaz de cumplir con especificaciones de temperatura requeridas por la marca registrada.
10. El método colorimétrico de medición de la concentración del agente acomplejante (EDTA) no es el adecuado.
11. La presencia del agente acomplejante (EDTA) en el agua a recuperar enmascara la concentración real de cloro libre medido con el método colorimétrico que utiliza DPD como reactivo.
12. El sistema de recuperación de agua de lavadoras es inestable y no cumple con especificaciones por la presencia de aditivos químicos de lavadora y el diseño inadecuado de la torre de enfriamiento para disminuir la temperatura del agua recuperada a temperatura ambiente, por lo que no debe implementarse a pesar del impacto positivo generado en la reducción de consumo de agua.

RECOMENDACIONES

1. Establecer un estudio periódico del consumo de agua suave en el lavado de envase.
2. Estandarizar el funcionamiento y las descargas de las lavadoras para disminuir el consumo de agua suave por envase.
3. Monitorear y controlar la temperatura y el volumen de los tanques de lavadora.
4. Evaluar la capacidad y funcionamiento de la torre de enfriamiento del sistema de recuperación y la posibilidad de instalar otro equipo capaz de enfriar el agua a temperatura ambiente.
5. Solicitar a las distribuidoras en Guatemala un método de medición de cloro libre en el cual la presencia de EDTA no interfiera en la medición.
6. Implementar un estudio en base al tiempo de saturación de los filtros para reducir el consumo de agua de regeneraciones y retrolavados.
7. Realizar un estudio de la factibilidad de recuperar el agua de lavadoras y utilizarla en:
 - Lavado de pisos y camiones
 - Lavadoras de cajas
 - Lubricación en transportadoras antes de lavadoras
 - Uso en servicio sanitario

8. Proponerle a la municipalidad que el agua suave que se desecha sea utilizada en riego o lavado de camiones.

BIBLIOGRAFÍA

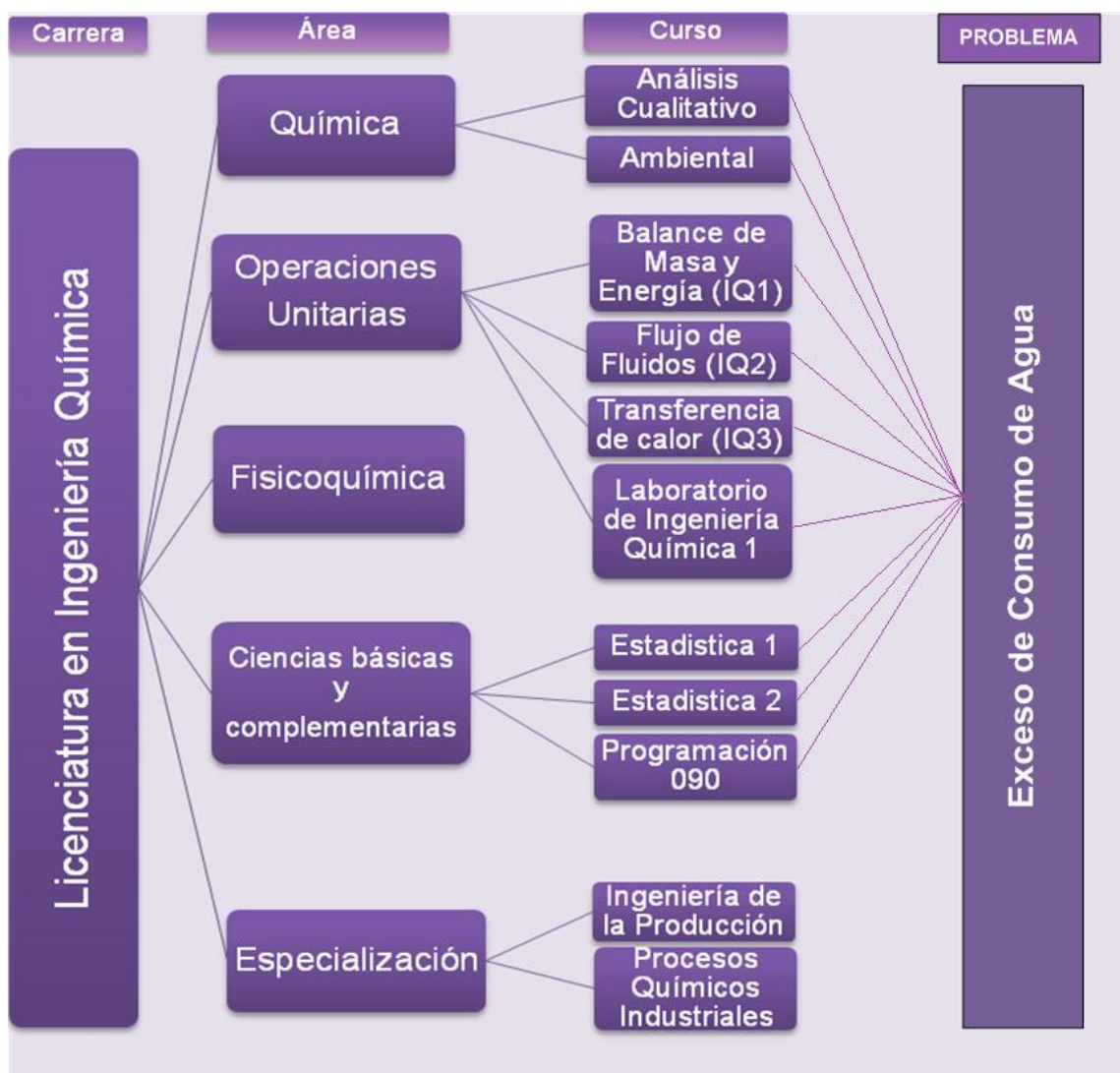
1. *Capital hídrico y usos del agua Guatemala*. [en línea]. [ref. 7 de febrero de 2011] Disponible en Web: <<http://www.aguayclima.com/pdf/capitalhidricousosdelagua-guatemala.pdf>>.
2. *Ciclo del agua*. [en línea]. [ref. 3 de marzo de 2011] Disponible en Web: <<http://conap.gob.gt:81/flash/CicloAgua/index.html>>.
3. *Control Estadístico de Procesos, Capacidad de Proceso*. [en línea]. [ref. 3 de marzo de 2011] Disponible en Web: <<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Gestion%20de%20la%20calidad/controlestadistico12.pdf>>.
4. CUEVAS, Amilcar. *Acondicionamiento industrial del agua para una planta de bebidas gaseosas*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1986. 51 p.
5. *Efecto Doppler*. [en línea]. [ref. 3 de marzo de 2011] Disponible en Web: <<http://www.instrumentacionycontrol.net/es/curso-completo-medicion-flujo-caudal/322-principios-de-medicion-de-flujometros-ultrasonicos-efecto-doppler-y-tiempo-de-transito-de-la-senal.html>>.

6. *Estudios de capacidad y habilidad del proceso (Cp y Cpk)* [en línea]. [ref. 3 de marzo de 2011] Disponible en Web: <<http://www.calidad.com.mx/articulos/58.htm>. >.
7. HIMMELBLAU, David. *Principios básicos y cálculos en Ingeniería química*. 6a ed. Texas: Prentice Hall Latinoamérica, 1997. 749 p.
8. *Informe Unicef de Agua*. [en línea]. [ref. 9 de febrero de 2011] Disponible en Web: <<http://www.unicef.org/guatemala/spanish/wes.html> >.
9. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente Universidad Rafael Landivar. *Perfil ambiental en Guatemala, situación del recurso hídrico en Guatemala*. Guatemala: IARNA; Universidad Rafael Landivar, 2005. 31 p.
10. MASKEW FAIR, Gordon. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México: Limusa, 1973. 764 p.
11. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Pearson Educación, 2006. 644 p.
12. *Normas calidad del agua*. [en línea]. [ref. 7 de febrero de 2011] Disponible en Web: <<http://laboratoriosdecalidaddeagua.blogspot.com/>>.
13. PERRY, Robert H. *Manual del Ingeniero Químico*. 4a ed. España: McGraw-Hill, 2001. vol 2-209 p.

14. *Recurso hídrico en Guatemala*. [en línea]. [ref. 13 de febrero de 2011]
Disponibile en Web:
<<http://www.docstoc.com/docs/9163239/Situaci%EF%BF%BDn-del-Recurso-Agua-en-Guatemala>>.
15. SAMPIERY, Roberto. *Metodología de la Investigación*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2006. 265 p.
16. SNOEYINK, Vernon L. *Química del agua*. México: Limusa, 1995. 508 p.
17. *Tipos de agua*. [en línea]. [ref. 7 de febrero de 2011] Disponible en Web:
<<http://www.agua-mineral.net/670/distintos-tipos-de-agua-definiciones/>>.
18. VERREY, Jack M. *Agua su calidad y tratamiento*. México: Unión Tipográfica, 1968. 564 p.

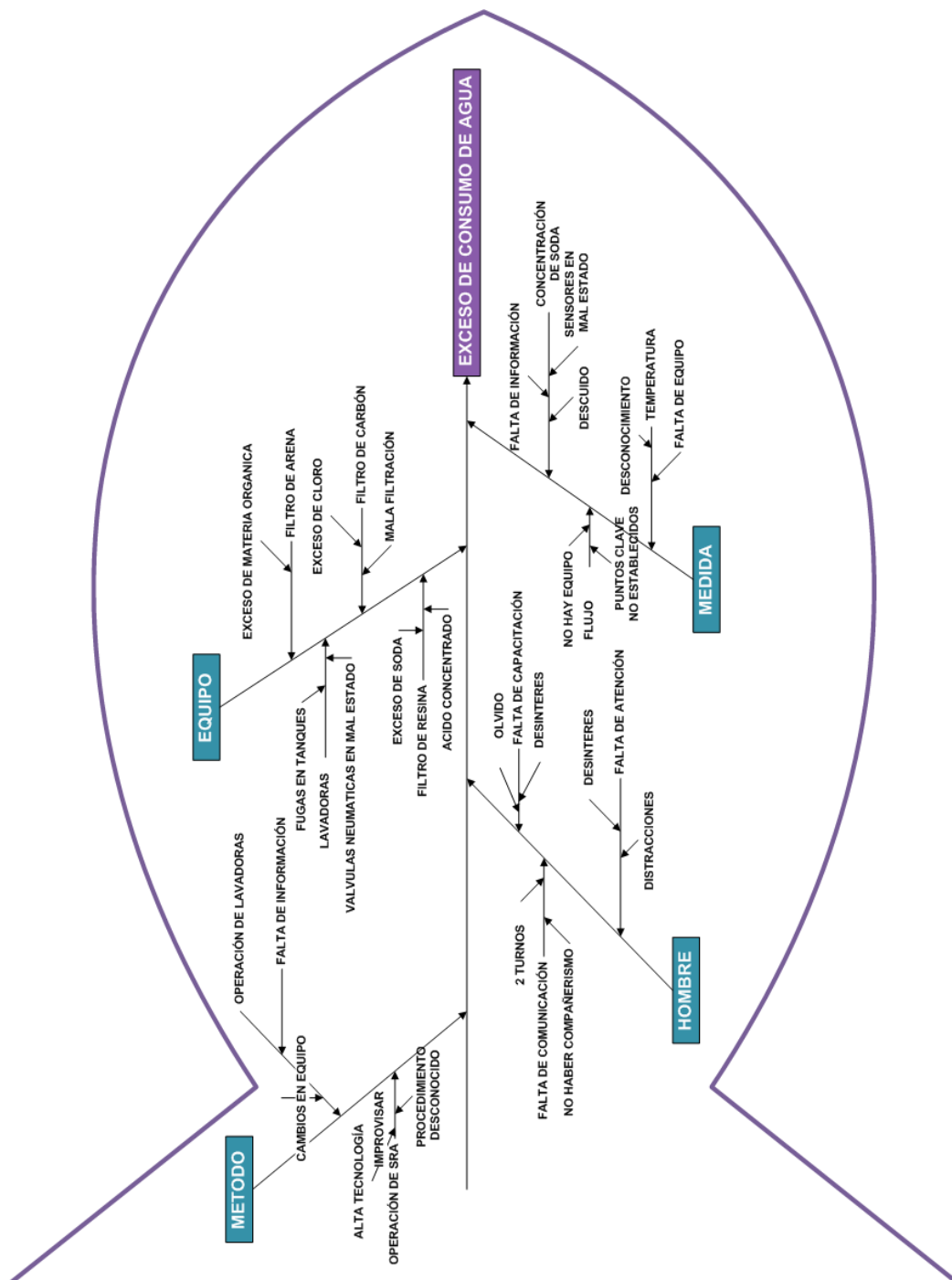
APÉNDICE

Apéndice 1 **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2 Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Sistema de recuperación de agua

Apéndice 3.1. Diseño de muestreo

Tabla. **Detalles del diseño de muestreo para el sistema de recuperación de agua de lavadora**

Caso No.	Parámetros	Situación
1	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de agua• Cloro libre• TDS• pH	Monitoreo inicial del sistema trabajando línea 3.
2	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de agua• Cloro libre• TDS• pH	Monitoreo inicial trabajando línea 1 y 3 juntas
3	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de agua• Cloro libre• TDS• pH	Monitoreo de la línea 3 fijando los Chorros de enjuague
4	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura de agua• Cloro libre• TDS• pH	Monitoreo de la línea 3 Declarar tanque 3 de lavadoras como secundario y reducir la temperatura de 60°C a 48°C.
5	<ul style="list-style-type: none">• Cloro libre• TDS• pH	Monitoreo de la línea 3 suspendiendo uso de aditivos químicos de lavadora.

Fuente: elaboración propia

En el caso No.5 ya no se midió la temperatura del agua debido a que con los casos anteriores se vio una misma tendencia y al eliminar el aditivo químico (EDTA) añadido en el tanque de enjuague final de lavadora no se influía sobre la temperatura puesto que el aditivo que se mantuvo (ácido fosfórico) en el tanque de enjuague final de lavadora se utiliza en concentraciones bajas.

A continuación se realiza la demostración de que la presencia del ácido fosfórico no influye en el aumento de la temperatura a pesar de ser un ácido moderadamente fuerte.

Especificaciones de la marca registrada:

- Concentración de ácido fosfórico en tanque de enjuague final:
 $0.05 \frac{g_{H_3PO_4}}{L}$
- Cantidad: 16 gal / día en promedio.
- Volumen del tanque de enjuague final: $8m^3$
- Concentración del ácido fosfórico utilizado: 0,5%

Propiedades del ácido Fosfórico utilizado:

❖ Forma Física (20°C)	Líquido
❖ Punto de congelación	-5°C
❖ Punto de Ebullición	>100°C
❖ Solubilidad	Se mezcla fácilmente con agua en todas las proporciones.
❖ pH (solución 1%)	2,7

Dependiendo de las condiciones el ácido fosfórico puede ser utilizado en intervalos predeterminados. La concentración de trabajo es de 0,5 – 1%.

Con los datos anteriores se calculó que el cambio de temperatura producido por la reacción exotérmica del ácido es de $1.54E-3$ °C, lo cual se determinó haciendo uso de los datos obtenidos del Manual del Ingeniero Químico y la ficha técnica del ácido utilizado con el siguiente procedimiento:

Densidad del ácido fosfórico	1,4 g/ml
Densidad del agua	1 g/ml
Peso Molecular del ácido Fosfórico	98 g/mol

Capacidad calorífica (Cp) del ácido fosfórico al 0,5%	0,9798 Cal/g°C
Volumen del tanque de lavadora	8m ³
Volumen de ácido fosfórico añadido al tanque	16 galones
Calor de disolución del ácido fosfórico al 0,5%	+2,79 Kcal/mol.

Paso 1: Cálculo del volumen de la solución al 0.5% en litros.

$$Volumen_{H_3PO_4}(0,5\%) = 16 \text{ gal} * 3,785 \text{ L} = 60,57 \text{ L}_{H_3PO_4}(0,5\%)$$

Paso 2: Cuantificar volumen de ácido fosfórico en la solución de 0,5%

$$Volumen_{H_3PO_4} = \frac{0.5 * 60,57 \text{ L}_{H_3PO_4}(0,5\%)}{100} = 0,3028 \text{ L}_{H_3PO_4}$$

Paso 3: Número de moles de ácido fosfórico

$$Moles \text{ de ácido fosfórico} = 0,3028 \text{ L} * \frac{1000ml}{L} * \frac{1,4 \text{ g}}{1 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ mol}}{98 \text{ g}} = 4,325 \text{ moles}$$

Paso 4: Cálculo del calor de dilución

$$Calor \text{ de Dilución} = 2,79 \frac{KCal}{mol} * 4,325 \text{ moles} = 12,07 KCal$$

Paso 5: Cálculo del cambio de temperatura que se da al adicionar el ácido fosfórico al tanque de enjuague final de lavadora.

$$Q = m * cp * \Delta T$$

Donde:

Q = calor (Cal)

m = masa de solución (g)

cp = capacidad calorífica(Cal/g°C)

ΔT = cambio de temperatura (°C)

Entonces despejando para el cambio de temperatura tenemos:

$$Q = m * cp * \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{m * cp}$$

Sustituyendo para nuestro caso:

$$\Delta T = \frac{12,07E3}{8E6 * 0,9798} = 1,54E - 3^{\circ}C$$

Lo cual nos indica que por las concentraciones tan bajas del ácido fosfórico el cambio de temperatura que se da dentro del tanque es insignificante, la función de adición del ácido es para mantener el pH entre 7 y 7,4 dentro del tanque de enjuague final.

Verificando el cumplimiento de la concentración del ácido fosfórico solicitada por la marca registrada dentro del tanque de enjuague final de lavadora:

Paso 1: Concentración en el tanque de enjuague final.

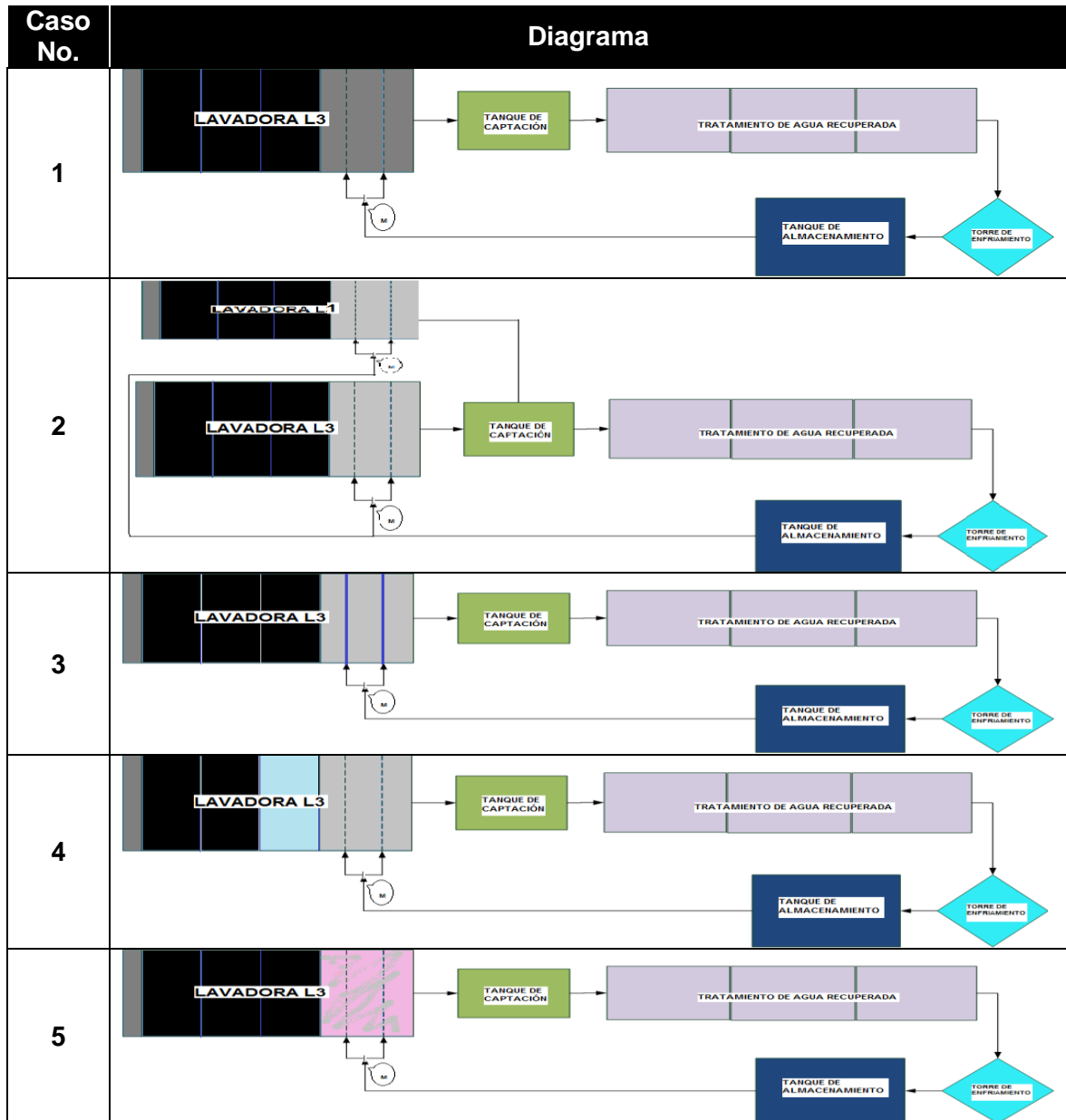
$$\% V_{H_3PO_4} = \frac{0,3028 L_{H_3PO_4}}{8E3 L} * 100 = 3,7E - 3 \%_{\text{ácido fosfórico}}$$

Paso 2: Llevarlo a concentración requerida por marca registrada ($g_{H_3PO_4}/L$)


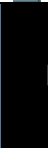
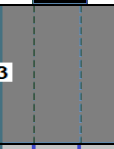
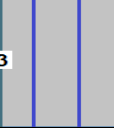
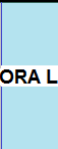






$$\frac{g_{H_3PO_4}}{L} = \frac{3,7E - 3 L_{H_3PO_4}}{1 L_{\text{Solución}}} * \frac{1000 ml}{1L} * \frac{1,4 g_{H_3PO_4}}{1 ml} = 0,0518 \frac{g_{H_3PO_4}}{L}$$

Lo cual cumple con la especificación requerida de la marca registrada de $0,05 \frac{g_{H_3PO_4}}{L}$, comprobando que la concentración utilizada dentro del tanque de enjuague final no influye en la temperatura y mantiene el pH en un rango de $7 \pm 0,2$.

Tabla. Continuación detalles del diseño de muestreo para el sistema de recuperación de agua de lavadora

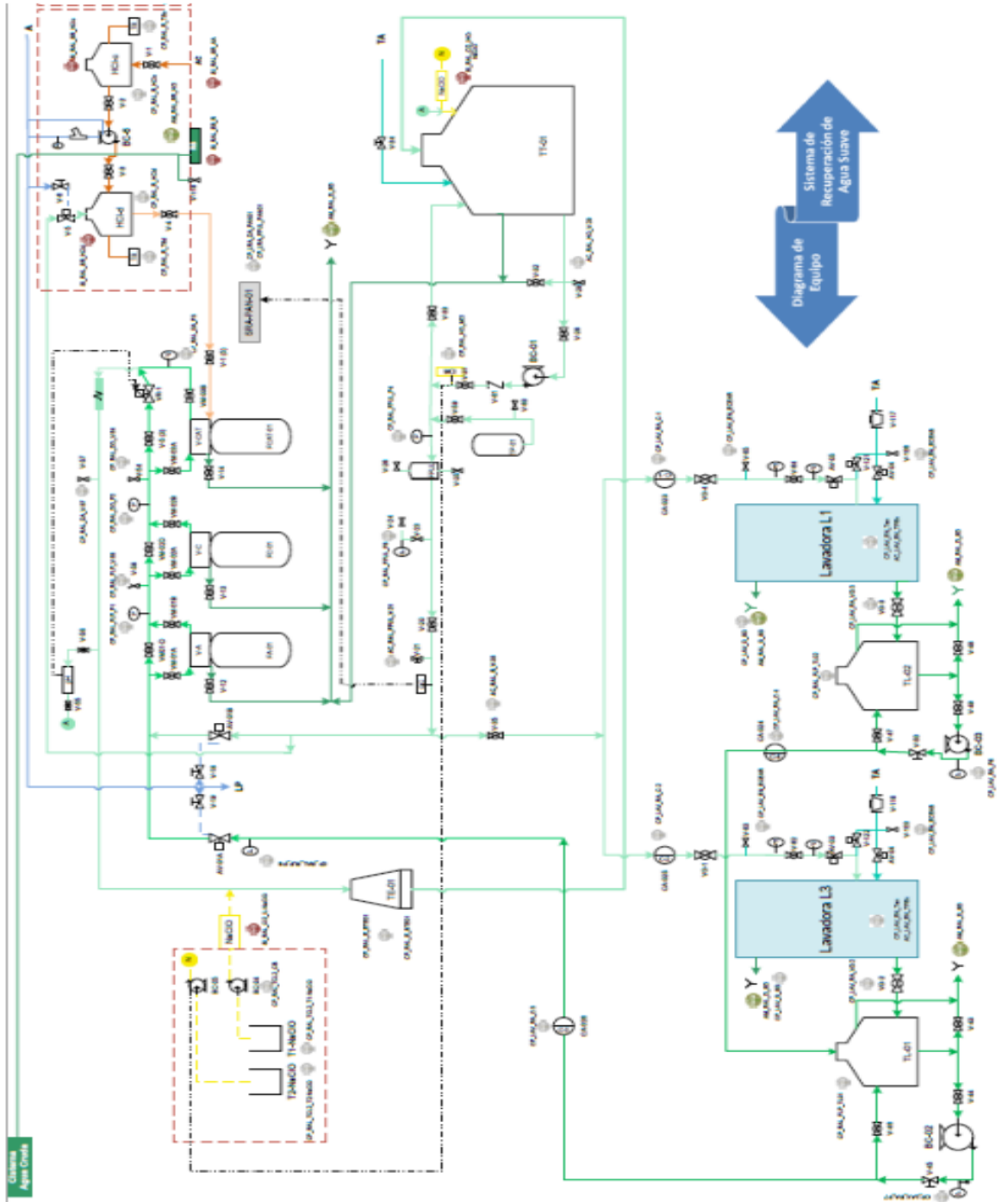


Fuente: elaboración propia.





























Símbolo	Significado
	Tanque de pre-enjuague
	Tanques principales de lavadora (1, 2, 3)
	Tanque de enjuague final (chorros movibles)
	Tanque de enjuague final (chorros fijos)
	Tanque 3 como secundario (disminuye temperatura de 60°C a 48°C)
	Tanque de enjuague final (sin aditivo EDTA)
	Tanque de captación de agua de lavadora
	Tratamiento de agua recuperada (filtro de arena, carbón, resina)
	Torre de enfriamiento
	Tanque de almacenamiento de agua recuperada
	Punto de monitoreo de los parámetros

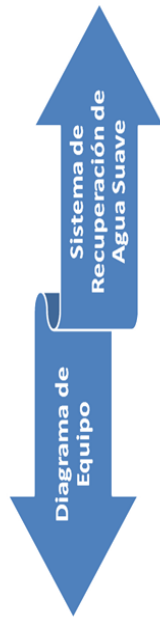
Fuente: elaboración propia

Diagrama de equipo del sistema de recuperación de agua



Fuente: elaboración propia.

SÍMBOLO	ABREVIATURA	EQUIPO
	TT-01	Tanque de Homogenización Agua Procesada
	T1-NaClO, T2-NaClO	Tanques de Hipoclorito de Sodio
	TL-01, TL-02	Tanque de Captación en Línea 1 y 3
	HClc	Tanque de Ácido Clorhídrico concentrado
	HClc	Tanque de Ácido Clorhídrico diluido
	TS	Tanque de Soda
	V-1 a V-64, VG-1 a VG-5	Válvula Reguladora de Flujo Manual
	V-19, V-18, etc.	Válvula abierto cerrado Manual
	AV- 01 a AV-05	Válvula abierto cerrado Automática
	VR-1	Válvula Reguladora de Flujo Automática
	V-54, V-58, etc.	Válvula Toma Muestra
	V-116, V-177	Válvula Reguladora de Presión
	V-A, V-C, V-CAT	Multi-válvula Automática
	P	Manómetro
	FA-01	Filtro de Arena
	FC-01	Filtro de Carbón
	FCAT-01	Filtro de Resina de Intercambio Iónico
	BC-01 a BC-06	Bomba Centrífuga
	FPUL	Filtro Pulidor
	TE-01	Torre de Enfriamiento
	TP-01	Hidroneumático
	NaClO	Injectores de Hipoclorito
	CC	Censor de Conductividad
	C-1 a C-5	Contadores de Agua
	MCI	Medidor de cloro
	pH	Medidor de pH
	MEZ	Mezclador Estático
	-----	Filtro de Aire
	RS	Regadera, Lava ojos
	SRA-PAN-01	Panel de Control
	Lavadoras L1 y L3	Lavadoras de Líneas de Producción
	SD	Salida Drenaje



NOMENCLATURA	SIGNIFICADO	COLOR TUBERIA	SIGNIFICADO
A	Alimentación	—	Agua Suavizada Recuperada
LP	Líneas de Producción	—	Agua de Recuperada de Lavadoras
TA	Tratamiento de Agua	—	Agua Suavizada Vapor
GROSOR DE TUBERIA	SIGNIFICADO	—	Acido Clorhídrico Diluido
—	4"	—	Acido Clorhídrico Concentrado
—	2"	—	Aire
—	1"	—	Agua de Desecho
—	—	—	Conexión de Sensores
—	—	—	Seguridad Industrial

Fuente: elaboración propia

Apéndice 4 Resultados de monitoreo y muestreo

Tabla. Monitoreo del consumo de agua suave/recuperada línea1

Producción		Consumo de agua suavizada y recuperada					
Fecha	Envase retornable RP, Litro VR	Agua suavizada m³	Std 40%	Agua recuperada m³	Std 60%	Agua total m³	Oportunidad agua suave m³
1	0	0	0%	0	0%	0	0.0
2	0	0	0%	0	0%	0	0.0
3	0	0	0%	0	0%	0	0.0
4	0	0	0%	0	0%	0	0.0
5	0	0	0%	0	0%	0	0.0
6	61,023	64	100%	0	0%	64	14.6
7	0	0	0%	0	0%	0	0.0
8	0	0	0%	0	0%	0	0.0
9	0	0	0%	0	0%	0	0.0
10	70,396	77	68%	36	32%	113	8.0
11	0	0	0%	0	0%	0	0.0
12	0	0	0%	0	0%	0	0.0
13	0	0	0%	0	0%	0	0.0
14	0	0	0%	0	0%	0	0.0
15	0	0	0%	0	0%	0	0.0
16	117,241	79	72%	31	28%	110	14.9
17	64,989	59	66%	31	34%	90	6.6
18	40,510	60	65%	32	35%	92	4.1
19	0	0	0%	0	0%	0	0.0
20	0	0	0%	0	0%	0	0.0
21	0	0	0%	0	0%	0	0.0
22	0	0	0%	0	0%	0	0.0
23	0	0	0%	0	0%	0	0.0
24	0	0	0%	0	0%	0	0.0
25	0	0	0%	0	0%	0	0.0
26	0	0	0%	0	0%	0	0.0
27	0	0	0%	0	0%	0	0.0
28	0	0	0%	0	0%	0	0.0
29	29,523	78	100%	0	0%	78	7.1
30	0	0	0%	0	0%	0	0.0
31	0	0	0%	0	0%	0	0.0
Acumulado:	383,682	416	76%	130	24%	546	55.3

Fuente: elaboración propia.

Tabla. **Monitoreo del consumo de agua suave / recuperada línea 3**

Producción		Consumo de agua suavizada y recuperada					
Dato	Envases lavados, unidades	Agua suavizada	Std	Agua recuperada	Std	Agua total	Oportunidad agua suave
		m ³	40%	m ³	60%	m ³	m ³
1	275,627	54	44%	70	56%	124	3.6
2	283,312	74	54%	64	46%	138	13.8
3	259,475	87	72%	34	28%	121	29.2
4	226,483	80	79%	22	21%	102	30.7
5	0	0	0%	0	0%	0	0.0
6	216,964	56	98%	1	2%	57	43.9
7	202,506	56	72%	22	28%	77	22.8
8	99,171	37	78%	10	22%	47	13.3
9	157,077	47	66%	24	34%	71	14.2
10	219,483	56	57%	43	43%	99	12.9
11	190,667	76	100%	0	0%	76	40.0
12	0	0	0%	0	0%	0	0.0
13	147,051	67	100%	0	0%	67	30.9
14	284,714	65	61%	42	39%	107	21.0
15	249,367	64	53%	57	47%	121	11.4
16	236,018	80	65%	43	35%	123	20.6
17	275,277	80	65%	43	35%	123	24.1
18	274,390	74	63%	43	37%	117	22.1
19	0	0	0%	0	0%	0	0.0
20	276,937	45	39%	70	61%	115	0.0
21	265,525	69	43%	92	57%	161	2.6
22	363,054	114	63%	66	37%	180	29.7
23	317,837	26	33%	52	67%	78	0.0
24	97,170	37	41%	52	59%	90	0.5
25	0	0	0%	0	0%	0	0.0
26	0	0	0%	0	0%	0	0.0
27	172,664	88	75%	30	25%	117	20.9
28	295,987	93	50%	92	50%	185	10.8
29	316,157	94	63%	55	37%	148	25.6
30	113,779	70	60%	47	40%	117	7.8
31	99,267	8	20%	32	80%	39	0.0
Acumulado	5,915,959	1696	61%	1,104	39%	2,800	426

Fuente: elaboración propia.

Tabla. **Monitoreo del consumo de agua suave / recuperada por envase**
línea 3

Producción		Consumo de agua suavizada y recuperada			
Dato	Envases lavados, unidades	Agua suavizada	Agua Recuperada	Agua total Std ml/env	Oportunidad
		ml/env	ml/env	350	m ³
1	275,627	197	253	450	28
2	283,312	262	224	487	39
3	259,475	337	130	467	30
4	226,483	354	96	450	23
5	0	0	0	0	0
6	216,964	256	6	262	0
7	202,506	275	107	382	6
8	99,171	372	103	476	12
9	157,077	297	154	450	16
10	219,483	255	194	449	22
11	190,667	399	0	399	9
12	0	0	0	0	0
13	147,051	454	0	454	15
14	284,714	230	147	376	7
15	249,367	258	229	487	34
16	236,018	339	183	523	41
17	275,277	291	156	447	27
18	274,390	268	157	425	21
19	0	0	0	0	0
20	276,937	164	253	417	18
21	265,525	259	346	605	68
22	363,054	315	182	496	53
23	317,837	81	163	244	0
24	97,170	382	540	922	56
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	172,664	508	173	681	57
28	295,987	314	310	624	81
29	316,157	296	173	469	37
30	113,779	615	417	1032	78
31	99,267	77	317	394	4
Acumulado	5,915,959	287	187	473	782

Fuente: elaboración propia.

Tabla. **Resumen del consumo acumulado de agua de la línea 1**

Lavadora L1, m³		130
<u>Consumo Std, ml/env</u>	400	1,644
Perdida en consumo, m ³		392
<u>Distribución % de agua Suav-Rec</u>		
% agua suavizada	40%	78%
Agua suavizada, m ³		416
% agua recuperada	60%	26%
Agua recuperada, m ³		130
Perdida en distribución, m ³		55
<u>Aprovechamiento del sistema</u>		
Agua suministrada a lavadora, m ³		546
Agua recuperada desde lavadora, m ³		53
% agua recuperada desde lavadora	80%	11%
Perdida, m ³		56

Fuente: elaboración propia.

Tabla. **Resumen del consumo acumulado de agua de la línea 3**

Lavadora L3		1104
<u>Consumo Std, ml/env</u>	350	495
Perdida en consumo, m ³		782
<u>Distribución % de agua Suav-Rec</u>		
% agua suavizada	40%	62%
Agua suavizada, m ³		1696
% agua recuperada	60%	41%
Agua recuperada, m ³		1104
Perdida en distribución, m ³		452
<u>Aprovechamiento del sistema</u>		
Agua suministrada a lavadora, m ³		2800
Agua recuperada desde lavadora, m ³		1440
% agua recuperada desde lavadora	70%	54%
Perdida aprovechamiento SRAL, m ³		393

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Muestreo caso 1

No.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AS			Chorros de Enjuague entrada de AR		
		EDTA libre (ppm)	Concentración de Horolift (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)	pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)
6	7:35	6,00	7,52	6,00	2,82	23,00	7,00	1,63	26,00
7	7:56			6,00	2,86	23,00	6,00	0,53	25,00
8	8:20			5,50	2,90	24,00	6,00	0,62	26,00
9	9:10			7,00	2,86	26,00	6,00	0,68	27,00
10	9:31			6,00	2,86	29,00	6,00	0,76	29,00
11	10:04	4,50	7,57	6,00	2,85	23,00	6,00	0,77	28,00
12	10:24	6,00	7,48	5,50	2,82	24,00	6,00	1,06	28,50
13	10:35	6,00	7,52	5,50	2,82	23,50	6,00	0,92	28,00
14	10:55	6,00	7,67	5,50	2,87	24,00	5,50	0,99	28,00
15	11:06	6,00	7,61	5,50	2,83	24,00	6,00	0,93	29,00
16	11:27	6,00	7,62	5,50	2,10	25,00	6,00	1,33	29,00
17	11:27	6,00	7,62	5,50	2,10	25,00	6,00	1,33	29,00
18	11:47	6,00	7,60	5,50	2,91	25,00	6,00	1,68	30,00
19	11:50	6,00	7,58	5,50	2,84	24,50	6,00	1,24	30,00
20	11:50	6,00	7,58	5,50	2,84	24,50	6,00	1,24	30,00
21	12:25	6,00	7,63	5,50	2,79	25,00	6,00	1,25	31,00
22	12:52	6,00	7,58	5,50	2,65	25,00	7,00	0,83	31,00
Promedio		5,88	7,58	5,71	2,75	24,56	6,09	1,05	28,50
Desviación		0,42	0,05	0,40	0,25	1,42	0,36	0,34	1,73
LSC		6,72	7,69	6,50	3,25	27,41	6,82	1,72	31,96
LIC		5,05	7,48	4,91	2,25	24,71	5,36	0,37	25,04
LSE		7,00	8,00	8,50	3,00	27,00	8,50	3,00	27,00
LIE		5,00	7,00	6,50	1,00	23,00	5,00	1,00	23,00
Cp		0,80	3,21	0,84	1,33	0,47	1,60	0,98	0,38
LSE-Promedio		1,12	0,42	2,79	0,25	2,44	2,41	1,95	1,50
Promedio - LIE		0,88	0,58	0,79	1,75	1,56	1,09	0,05	5,50
Cpk		0,71	2,68	0,67	0,34	0,57	1,00	0,05	0,29

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Continuación muestreo caso 1

No.	Tiempo	Tanque de Captación de agua recuperada					Torre de Enfriamiento		Almacenamiento			
		Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Concentración de Soda (%)	Temperatura (°C)	pH	Temperatura Entrada (°C)	Temperatura Salida (°C)	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Temperatura (°C)	Cloro Libre (ppm)
6	7:35	0.25	926.00	0.20	30.00	9.00	28.50	23.50	6.99	1116.00	27.00	0.25
7	7:56	0.20	928.00	0.10	30.00	9.00	29.50	23.50	6.93	1111.00	26.50	0.10
8	8:20	0.15	893.00	0.10	34.00	10.00	31.50	25.50	6.92	1116.00	27.00	0.15
9	9:10	0.23	888.00	0.10	36.00	9.00	33.50	26.00	6.88	1119.00	28.50	0.20
10	9:31	0.17	884.00	0.10	36.00	9.00	33.50	27.50	6.92	1139.00	28.50	0.00
11	10:04	0.25	864.00	0.20	36.00	9.50	34.50	27.50	6.86	1162.00	29.00	0.30
12	10:24	0.26	921.00	0.10	36.00	9.00	35.50	28.50	6.87	1110.00	29.50	0.30
13	10:35	0.24	928.00	0.10	37.50	9.00	35.50	28.50	6.89	1103.00	30.00	0.30
14	10:55	0.25	919.00	0.10	31.00	9.50	35.50	29.00	6.90	1108.00	30.00	0.40
15	11:06	0.22	928.00	0.10	31.00	9.50	36.00	28.00	6.89	1188.00	30.00	0.50
16	11:27	0.24	964.00	0.10	38.00	9.00	36.00	29.00	6.92	1221.00	30.50	1.55
17	11:27	0.24	964.00	0.10	38.00	9.00	36.00	29.00	6.92	1221.00	30.50	1.55
18	11:47	0.27	957.00	0.10	37.00	9.00	37.00	28.50	6.93	1216.00	30.50	0.90
19	11:50	0.24	953.00	0.10	34.00	9.50	36.50	28.50	6.93	1187.00	30.50	1.20
20	11:50	0.24	953.00	0.10	34.00	9.50	36.50	28.50	6.93	1187.00	30.50	1.20
21	12:25	0.22	1003.00	0.10	38.00	9.00	36.50	28.50	7.07	1303.00	30.50	0.55
22	12:52	0.24	956.00	0.10	37.00	9.00	36.50	27.50	7.18	1411.00	31.50	1.80
Promedio		0.23	931.12	0.11	34.91	9.21	34.62	27.47	6.94	1177.53	29.44	0.66
Desviación		0.03	35.28	0.03	2.85	0.31	2.55	1.79	0.08	82.12	1.47	0.58
LSC		0.29	1001.68	0.18	40.62	9.82	39.71	31.05	7.10	1341.77	32.38	1.82
LIC		0.17	860.55	0.05	29.21	8.59	29.52	23.89	6.78	1013.29	26.51	-0.50
LSE		0.70	700.00	0.30	37.00	10.05	33.00	27.00	8.50	500.00	27.00	3.00
LIE		0.20	200.00	0.10	30.00	9.00	30.00	24.00	5.00	200.00	23.00	1.00
Cp		2.69	-2.18	1.00	0.41	0.56	0.20	0.28	7.37	0.61	0.45	0.57
[LSE-Promedio]		0.47	231.12	0.19	2.09	0.84	1.62	0.47	1.56	677.53	2.44	2.34
[Promedio - LIE]		0.03	731.12	0.01	4.91	0.21	4.62	3.47	1.94	977.53	6.44	0.34
Cpk		0.32	2.18	0.12	0.24	0.22	0.60	0.65	8.15	2.75	1.46	0.19

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Muestreo caso 2

No.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AS			Chorros de Enjuague entrada de AR		
		EDTA libre (ppm)	Concentración de Horolitt (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)	pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)
2	6:30	4	9,13	5,5	2,57	23	5,5	0,96	24
3	6:51						5,5	0,61	23,5
4	6:55						5,5	0,61	23,5
5	7:16			5,5	2,54	23	5,5	0,32	23
6	7:39	6	7,62	5,5	2,52	24	5,5	2,43	26
7	7:50			5,5	2,37	23	6	2,19	26
8	8:02			5,5	2,49	24	6	0,77	25
9	9:09			5,5	2,49	24,5	6	1,22	28
10	9:35			5,5	2,52	24	6	1,27	29
11	9:55			5,5	2,5	24	6	1,37	30
12	10:04	6	7,58	5,5	2,49	24,5	6	2,09	30
13	10:25	6	7,6	5,5	2,59	24,5	6	1,6	30
14	10:40	6	7,63				6	1,53	30
15	10:55	6	7,55				6,5	0,93	29
16	11:20	6	7,53	5,5	2,58	24,5	6	1,18	32
17	11:52	6	7,55	6	2,55	25			
18	12:23			5,5	2,55	25	6	1,76	33
19	12:35			5,5	2,69	25	6	1,14	34
20	12:35			5,5	2,69	25	6	1,14	34
21	12:45						6,5	1	32
22	13:08						6	0,13	32
Promedio		5,75	7,77	5,53	2,54	24,20	5,93	1,21	28,70
Desviación		0,71	0,55	0,13	0,08	0,73	0,30	0,59	3,69
LSC		7,16	8,87	5,79	2,70	25,65	6,53	2,39	36,09
LIC		4,34	6,68	5,28	2,38	22,75	5,32	0,03	21,31
LSE		7,00	8,00	8,50	3,00	27,00	8,50	3,00	27,00
LIE		5,00	7,00	6,50	1,00	23,00	5,00	1,00	23,00
Cp		0,47	0,30	2,58	4,18	0,92	1,94	0,57	0,18
LSE-Promedio		1,25	0,23	2,97	0,46	2,80	2,58	1,79	1,70
Promedio - LIE		0,75	0,77	0,97	1,54	1,20	0,93	0,21	5,70
Cpk		0,35	0,14	2,50	1,91	0,55	1,03	0,12	0,15

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Continuación muestreo caso 2

Ilo.	Tiempo	Tanque de Captación de agua recuperada				Torre de Eframiento			Almacenamiento			
		Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Concentración de Soda (%)	Temperatura (°C)	pH	Temperatura Entrada (°C)	Temperatura Salida (°C)	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Temperatura (°C)	Cloro Libre (ppm)
2	6:30	1,33	465	0,1	30,6	9,5						
3	6:51	1,01	465	0,1	32	9						
4	6:55	1,01	419	0,1	32	9						
5	7:16	0,56	373	0,2	30	8,5	31	24,5	7,26	339	25,5	7,70
6	7:39	0,12	373	0,2	33	9,5	32	24,5	7,25	330	27	2,3
7	7:50	0,09	441	0,1	32	9	32	24	7,29	346	27	4,8
8	8:02	0,16	436	0,1	32	9,5	31	24,5	7,3	332	27,5	3,3
9	9:09	0,11	466	0	36	8,5	34,5	27,5	7,33	451	29	0,5
10	9:35	0,15	441	0	35	8	36	28,5	7,33	688	30	1,3
11	9:55	0,2	441	0	36	8	36,5	28,5	7,13	695	30,5	1,15
12	10:04	0,18	452	0	37	8,5	36	29	7,13	709	30,5	0,6
13	10:25	0,19	477	0	37,5	8,5	36,5	28,5	7,25	734	31,5	0,9
14	10:40	0,21	587	0,1	39	9	38,5	28,5	7,22	753	32	0,7
15	10:55	0,24	532	0	38	8,5	38	29	7,25	710	32,5	0,62
16	11:20	0,21	575	0,1	40	9	37,5	28,5	7,25	772	32,5	0,95
17	11:52	0,13		0,1	39,5	9,5	39,5	30,5	7,26	698	33,5	0,34
18	12:23	0,18	539	0,1	40	9	40	30	7,12	739	33	0,16
19	12:35	0,15	728	0,1	41	9	40,5	30,5	7,18	741	33,5	0,6
20	12:35	0,12	656	0,1	41	9	40,5	30,5	7,18	741	33,5	0,6
21	12:45	0,15	636	0,1	40	9,5	41	30,5	7,18	774	34,5	0,45
22	13:08	0,13	615	0,1	41	9	41	31	7,18	806	35	2
Promedio		0,32	505,85	0,08	36,31	8,90	36,78	28,25	7,23	631,00	31,03	1,61
Desviación		0,36	98,11	0,06	3,80	0,46	3,47	2,34	0,07	177,46	2,84	1,93
LSC		1,04	702,07	0,20	43,91	9,83	43,72	32,93	7,36	985,92	36,70	5,46
LIC		-0,40	309,63	-0,04	28,72	7,98	29,83	23,57	7,10	276,08	25,36	-2,25
LSE		0,70	700,00	0,30	37,00	10,05	33,00	27,00	8,50	500,00	27,00	3,00
LIE		0,20	200,00	0,10	30,00	9,00	30,00	24,00	5,00	200,00	23,00	1,00
Cp		0,23	0,85	0,55	0,31	0,38	0,14	0,21	8,84	0,28	0,24	0,17
LSE-Promedio		0,38	194,15	0,22	0,69	1,14	3,78	1,25	1,27	131,00	4,03	1,39
Promedio - LIE		0,12	305,85	0,02	6,31	0,10	6,78	4,25	2,23	431,00	8,03	0,61
Cpk		0,11	0,66	0,11	0,06	0,07	0,36	0,61	11,26	0,25	0,47	0,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Muestreo Caso 3

No.	Tiempo	Chorros de Enjuague entrada de AS				Chorros de Enjuague entrada de AR			
		pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)		pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)	
3	6:31	5,5	2,99	24		5,5	5	23	
4	6:57	5	3	24		5,5	2,44	24	
5	7:05					5,5	1,75	24	
6	7:05					5,5	1,75	24	
7	7:10								
8	7:42	5,5	2,99	24		6	1,47	25	
9	8:50	5,5	2,89	25		6	0,66	25	
10	9:00					6,5	1,08	27	
11	9:13								
12	9:28	6	2,9	25		6,5	0,76	28	
13	9:47	5,5	2,8	25		6,5	0,92	29	
14	10:11	6	2,6	24,5		6	0,67	29	
15	10:42	5,5	2,89	25		6,5	0,47	30	
16	11:03	5,5		25		6,5		30	
17	11:31	5,5		25		6,5		30,5	
18	11:49	5,5		25		6,5		31	
19	12:05	6		25		6,5		31	
20	12:15	6		25		6		32	
21	12:15	6		25		6		32	
22	12:28	6		25		6,5		32	
23	12:51	5,5		26		6		32	
24	14:05	5,5		25,5		6		33,5	
25	14:30	5,5		26		6		33	
26	14:58	5,5		25,5		6,5		33,5	
27	15:14	5,5		25,5		6,5		34	
28	15:22	5,5		25		6,5		34	
29	15:35	6		25,5		6,5		33	
30	15:42	6		25		6		33,5	
Promedio		5,65	2,88	25,02		6,17	1,54	29,73	
Desviación		0,28	0,13	0,53		0,37	1,29	3,61	
LSC		6,21	3,15	26,09		6,92	4,13	36,94	
LIC		5,09	2,62	23,96		5,43	-1,05	22,52	
LSE		8,50	3,00	27,00		8,50	3,00	27,00	
LIE		6,50	1,00	23,00		5,00	1,00	23,00	
Cp		1,19	2,50	1,25		1,57	0,26	0,18	
[LSE-Promedio]		2,85	0,12	1,98		2,33	1,46	2,73	
[Promedio - LIE]		0,85	1,88	2,02		1,17	0,54	6,73	
Cpk		1,01	0,29	1,24		1,05	0,14	0,25	

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Muestreo continuación caso 3

No.	Tiempo	Tanque de Captación de agua recuperada					Torre de Enfriamiento			Almacenamiento			
		Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Concentración de Soda (%)	Temperatura (°C)	pH	Temperatura Entrada (°C)	Temperatura Salida (°C)	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Temperatura (°C)	Cloro Libre (ppm)	
3	6:31	0,12	1375	0,1	34	9,5							
4	6:57	0,96	746	0,1	32	9,5	27,15	17,84	6,84	351	20,68	2,15	
5	7:05	0,92	675	0,1	31	9,5	26,15	17,84	6,83	357	20,68	1,05	
6	7:05	0,92	675	0,1	31	9,5	26,15	17,84	6,83	357	20,68	1,05	
7	7:10						27,5	20	6,84	373	21	1	
8	7:42	0,11	595	0,1	33	9,5	28,15	18,84	6,84	389	21,68	1,5	
9	8:50	0,14	674	0,1	35	9,5	30,15	18,84	7,15	380	21,68	1,62	
10	9:00	0,14	633	0,1	36	9,5	31,15	20,84	7,16	420	23,68	2,3	
11	9:13						30	22,5	7,24	410	24	3,22	
12	9:28	0,17	631	0,1	35	9,5	30,15	21,84	7,24	437	24,68	2,8	
13	9:47	0,18	631	0,1	36	9,5	31,15	22,84	7,24	421	25,68	1,35	
14	10:11	0,2	630	0,1	38	10	33,15	22,84	7,27	480	25,68	0,26	
15	10:42	0,18	646	0,1	37	9,5	32,15	23,84	7,33	631	26,68	3,75	
16	11:03		624	0	38	9,5	33,15	23,84	7,31	624	26,68	1	
17	11:31		615	0,1	37,5	10	32,65	24,34	7,3	640	27,18	3,4	
18	11:49	0,95	605	0,1	39	9,5	34,15	24,84	7,29	621	27,68	2,5	
19	12:05		586	0,1	39	10	34,15	24,84	7,29	620	27,68	2	
20	12:15	0,21	561	0,1	39	10	34,15	25,84	7,27	618	28,68	3,15	
21	12:15		561	0	39	10	34,15	25,84	7,27	618	28,68	3,15	
22	12:28		585	0,1	39	10	34,15	25,84	7,27	630	28,68	3	
23	12:51		574	0,1	40	9,5	35,15	25,84	7,22	581	28,68	0,6	
24	14:05		677	0,1	41	10	36,15	27,34	7,17	633	30,18	0,08	
25	14:30		636	0,1	41	10	36,15	26,84	7,21	597	29,68	0,2	
26	14:58	0,26	648	0,1	41	9,5	36,15	27,34	7,19	614	30,18	2	
27	15:14		657	0	42	9,5	37,15	27,84	7,3	639	30,68	2	
28	15:22		635	0,1	41,5	9,5							
29	15:35		634	0	40,5	9							
30	15:42		634	0,1	42	9,5							
Promedio		0,37	658,58	0,08	37,60	9,63	32,10	23,19	7,16	518,38	25,89	1,88	
Desviación		0,36	152,02	0,04	3,37	0,27	3,32	3,28	0,18	117,00	3,40	1,09	
LSC		1,10	962,63	0,16	44,34	10,17	38,73	29,74	7,52	752,38	32,69	4,06	
LIC		-0,36	354,53	0,01	30,85	9,10	25,46	16,63	6,81	284,37	19,10	-0,30	
LSE		0,70	700,00	0,30	37,00	10,05	33,00	27,00	8,50	500,00	27,00	3,00	
LIE		0,20	200,00	0,10	30,00	9,00	30,00	24,00	5,00	200,00	23,00	1,00	
Cp		0,23	0,55	0,91	0,35	0,65	0,15	0,15	3,29	0,43	0,20	0,31	
ILSE-Promedio		0,33	41,42	0,22	0,60	0,41	0,90	3,81	1,34	18,38	1,11	1,12	
Promedio - LIE		0,17	458,58	0,02	7,60	0,63	2,10	0,81	2,16	318,38	2,89	0,88	
Cpk		0,15	0,09	0,14	0,75	0,52	0,09	0,08	4,06	0,05	0,11	0,27	

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Muestreo caso 4

Ilo.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AS			Chorros de Enjuague entrada de AR		
		EDTA libre (ppm)	Concentración de Horolil (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)	pH	Cloro Libre (ppm)	Temperatura (°C)
1	7:27	6,6	7,52	5,5	2,95	24,5	6	0,27	25
2	7:39	8,2	7,49	5,5	2,88	24,5	6	4	26
3	7:46	8,2	7,36	5,5	2,85	24,5	5,5	1,38	26
4	7:52	6,6	7,57				5,5	0,75	25,5
5	8:24			6	2,88	24	5,5	1,15	27
6	8:34			5,5	2,91	24,5	6	1,99	27
7	8:56	5	7,85	5,5	2,93	25	6	0,91	27
8	9:28	5	7,8	5,5	2,87	24,5	6	1,28	28
9	9:37	5	7,68	5,5	2,91	24,5	6	1,44	28
10	9:44	6,6	7,63	5,5	2,91	23,3	6	1,85	28,5
11	10:06	6,6	7,65	5,5	2,87	25	6	1,24	28
12	10:29	6,6	7,61	5,5	2,92	25	6	1,49	29
13	10:32	6,6	7,61				7,369	0,92	29
14	10:54	6,6	7,53				7,283	0,91	29
21	12:51								
22	13:04								
23	13:17			7,172	2,84	25	7,297	4	30
24	13:33	5	7,57	7,204	2,84	25	7,35	0,57	30
25	13:46	5	7,49	7,156	2,82	25,5	7,342	1,38	30,5
26	14:13	6,6	7,46	7,266	2,8	25	7,274	1,3	31
27	14:41	8,2	4,51						
28	14:43	6,6	7,55	7,148	2,76	25	7,201	1,12	30
29	14:56	6,6	7,57	7,176	2,79	25	7,142	0,97	31,5
30	15:08	6,6	7,46	7,254	2,69	25	7,14	1,14	31
Promedio		6,43	7,42	6,19	2,86	24,71	6,47	1,43	28,43
Desviación		1,05	0,71	0,84	0,07	0,49	0,73	0,94	1,93
LSC		8,54	8,84	7,86	2,99	25,70	7,93	3,31	32,28
LIC		4,33	5,99	4,51	2,72	23,72	5,02	-0,44	24,58
LSE		7,00	8,00	7,50	3,00	27,00	8,50	3,00	27,00
LIE		5,00	5,00	5,00	1,00	23,00	5,00	1,00	23,00
Cp		0,32	0,70	0,50	5,03	1,35	0,80	0,36	0,35
LSE-Promedio		0,57	0,58	1,31	0,14	2,29	2,03	1,57	1,43
Promedio - LIE		1,43	2,42	1,19	1,86	1,71	1,47	0,43	5,43
Cpk		0,45	1,13	0,47	0,72	1,16	0,67	0,15	0,25

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Continuación muestreo caso4

No.	Tiempo	Tanque de Captación				Torre de Enfriamiento		Almacenamiento				
		Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Concentración de Soda (%)	Temperatura (°C)	pH	Temperatura Entrada (°C)	Temperatura Salida (°C)	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Temperatura (°C)	Cloro Libre (ppm)
1	7:27	0.36	683	0.1	33	10	28.15	25.52	7.4	329	22.68	3.9
2	7:39	0.14	519	0.1	33	9.5	28.15	26.52	7.41	326	23.68	4.35
3	7:46	0.12	508	0	33	9	28.15	26.52	7.36	318	23.68	1.2
4	7:52	0.08	511	0	33	8	28.15	26.02	7.48	338	23.18	4.5
5	8:24	0.14	594	0	33.5	8	28.65	27.52	7.36	438	24.68	0.25
6	8:34	0.2	591	0	33.5	8	28.65	27.52	7.37	450	24.68	0.3
7	8:56	0.18	591	0.1	30	8.5	25.15	24.68	7.34	648	24.68	0.25
8	9:28	0.19	685	0.1	33	9	28.15	25.68	7.26	608	25.68	0.33
9	9:37	0.16	663	0.1	36	9.5	31.15	28.52	7.26	623	25.68	1.2
10	9:44	0.39	657	0	35.5	8.5	30.65	29.02	7.21	457	26.18	3.4
11	10:06	0.26	674	0	36	8	31.15	28.52	7.23	740	25.68	
12	10:29	0.24	658	0	36	8	31.15	29.52	7.21	749	26.68	0.5
13	10:32	0.19	666	0	36.5	9.127	31.65	29.52	7.21	747	26.68	0.85
14	10:54	0.31	679	0	36	9.263	31.15	29.52	7.15	796	26.68	1.25
21	12:51								7.16	810		1.4
22	13:04								7.18	880		1.7
23	13:17	0.1	980	0	35.5	8.24	30.65	30.52	7.32	880	27.68	9.45
24	13:33	0.23	800	0.1	36.5	9.888	31.65	30.52	7.31	847	27.68	1.6
25	13:46	0.22	803	0.1	37	9.962	32.15	31.02	7.25	852	28.18	0.25
26	14:13	0.26	818	0.1	38	9.929	33.15	31.52	7.13	764	28.68	
27	14:41								7.06	765		0.4
28	14:43	0.07	777	0.1	38	9.924	33.15	30.52	7.1	778	27.68	2
29	14:56	0.19	763	0.1	39	9.986	34.15	32.02	7.05	790	29.18	0.4
30	15:08	0.22	753	0.1	39	9.916	34.15	31.52	7.05	803	28.68	2.6
Promedio		0.20	684.43	0.05	35.29	9.06	30.44	28.68	7.24	655.67	26.11	1.91
Desviación		0.08	115.90	0.05	2.35	0.80	2.35	2.23	0.12	196.13	1.93	2.17
LSC		0.37	916.23	0.15	39.99	10.66	35.14	33.13	7.49	1047.93	29.96	6.26
LIC		0.03	452.63	-0.05	30.58	7.46	25.73	24.22	7.00	263.40	22.26	-2.43
LSE		0.70	700.00	0.30	37.00	10.05	33.00	27.00	8.50	500.00	27.00	3.00
LIE		0.20	200.00	0.10	30.00	9.00	30.00	24.00	5.00	200.00	23.00	1.00
Cp		0.99	0.72	0.65	0.50	0.22	0.21	0.22	4.82	0.25	0.35	0.15
LSE-Promedio		0.50	15.57	0.25	1.71	0.99	2.56	1.68	1.26	155.67	0.89	1.09
Promedio - LIE		0.00	484.43	0.05	5.29	0.06	0.44	4.68	2.24	455.67	3.11	0.91
Cpk		0.01	0.04	0.31	0.24	0.02	0.36	0.25	3.46	0.26	0.15	0.14

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Muestreo caso 5

No.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AR			Tanque de Captación de agua			Almacenamiento		
		Concentración Ferisol	Concentración de Horollit (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Sólidos totales disueltos (TDS)	pH		pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Cloro Libre (ppm)
1	7:27											
2	7:39	1,64	7,33									
3	7:46											
4	7:52											
5	8:24	1,64	7,55							7,571	296	5,95
6	8:34	1,64	7,49	7,262	4,55	241	461	10,346		7,606	218	5,65
7	8:56			7,262	4,55	241	461	10,346		7,606	218	5,65
8	9:28			7,608	2,3	187	401	10,345		7,56	211	4,4
9	9:37	1,64	7,09	7,691	2,8	177,2	422	10,256		7,613	241	3,05
10	9:44	1,64	7,56	7,655	2,15	178	386	10,288		7,599	198	2,85
11	10:06	1,64	7,25	7,706	2,75	183	395	10,322		7,698	193	4,05
12	10:29	1,64	7,48	7,657	1	177,2	542	10,564		7,55	399	1,6
13	10:32	1,64	7,59	7,711	2,6	186	556	10,704		7,809	208	3,95
14	10:54	1,64	7,12	7,855	1,9	177,2	662	10,843		7,717	198,7	1,75
15	11:09	1,64	7,06	7,829	2,8	188,1	581	10,848		7,712	339	4,05
16	11:11	1,64	7,28	7,869	3,25	192,9	532	10,738		8,23	218	3,8
17	11:36			7,888	2,2	196,8	604	10,886		8,389	214	2,3
18	11:49									7,841	291	3
19	12:07									8,127	232	7,55
20	12:33											
21	12:51											
22	13:04											
23	13:17	1,64	7,19									
24	13:33			8,481								
25	13:46	1,64	7,07	8,734	2,8	314	943	11,307		8,388	250	3,95
26	14:13	1,64	7,21	8,861	3,85	264	557	10,785		8,704	253	3,4
27	14:41				4,65	271	599	10,866				
28	14:43											
29	14:56											
30	15:08											

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Continuación muestreo caso 5

No.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AR		Tanque de Captación de agua		Almacenamiento		
		Concentración Ferisol	Concentración de Horolit (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	pH	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Cloro Libre (ppm)
1	7:27			7,895	3,1	183,4	379	10,18	255	2,75
2	7:39								190	4,85
3	7:46								277	5,2
4	7:52			8,125	2,45	166	503	10,184	207	5,15
5	8:24			8,125	2,45	166	503	10,184	207	5,15
6	8:34								185,6	5,3
7	8:56								167,9	5,05
8	9:28								216	4,7
9	9:37									
10	9:44									
11	10:06									
12	10:29									
13	10:32									
14	10:54			7,788	3,95	249	369	10,182	202	6,6
15	11:09			7,817	3,25	155,1	365	10,017	155,4	3,85
16	11:11			7,82	4,7	245	362	10,051	216	4,75
17	11:36			7,713	3,05	192,3	330	9,941	166,7	3,85
18	11:49			7,863	2,8	162,4	330	9,808	196,3	3,9
19	12:07									
20	12:33									
21	12:51									
22	13:04			7,864	3,75	162,2	316	9,853	180,8	4,6
23	13:17									
24	13:33									
25	13:46			7,919	9,35	162,2	360	9,988	160,4	10
26	14:13			8,011	11	217	329	9,927	160,9	9,85
27	14:41			7,851	7,8	185	400	9,956		
28	14:43			7,844	5,95	191	378	9,913	169,7	6,2
29	14:56			7,805	6,1	188,5	362	9,9	162,1	4,75
30	15:08			7,744	3,55	192,7	349	9,899		

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Continuación muestreo caso 5

No.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AR		Tanque de Captación de agua		Almacenamiento		
		Concentración Ferisol	Concentración de Horolit (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	pH	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Cloro Libre (ppm)
1	7:27	1,64	7,46	7,223	4,4	322	471	10,37	312	4,2
2	7:39	1,64	7,53				458	10,454	315	4,85
3	7:46	1,64	7,29				447	10,487	322	4,3
4	7:52	1,64	7,29				447	10,487	322	4,3
5	8:24	1,64	7,38	7,508	7,2	303	440	10,491	303	4,35
6	8:34	1,64	7,44	5,896	5,5	440	398	10,293	276	3,15
7	8:56	1,64	7,46	7,608	4,75	222	414	10,356	265	2,8
8	9:28	1,64	7,51	7,459	3,7	245	391	10,272	178,1	2,05
9	9:37			7,629	3,35	188,9	386	10,305	174,2	3,6
10	9:44			7,66	2,25	184,6	386	10,249	175,1	4,3
11	10:06	1,64	7,63				408	10,303	175,9	4,65
12	10:29			7,951	2,4	176	399	10,317	193,2	3,1
13	10:32	1,64	7,38	7,969	2,1	177,7	410	10,359	172,4	3
14	10:54			7,912	1,4	178,3	407	10,398	181,2	1,75
15	11:09	1,64	7,55						174,1	1,6
16	11:11						430	10,321	175,1	1,75
17	11:36	1,64	7,23	7,921	1,2	174,7	391	10,252	176,2	1,35
18	11:49			7,953	0,55	168,1	408	10,31	159,3	1,39
19	12:07	1,64	7,46	7,951	0,3	169	405	10,34	162	0,88
20	12:33	1,64	7,31	7,951	0,3	169	405	10,34	162	0,88
21	12:51	1,64	7,36	8,06	3,1	179,7	435	10,439	260	3,45
22	13:04	1,64	7,36	8,074	4,1	181,2	433	10,436	175,4	3,5
23	13:17			8,084	2,9	183,5	432	10,436	194,1	3,3
24	13:33	1,64	7,25	8,083	3,85	184,4	521	10,657	180,1	3,7
25	13:46			8,081	4,5	187,3	525	10,685	184,1	4,55
26	14:13	1,64	7,29	8,052	4,55	244	434	10,426	220	3,6
27	14:41			8,083	1,6	177,9	470	10,48	182,6	3,05
28	14:43	1,64	7,39	8,078	3,55	179,2	430	10,428	175,6	3,6
29	14:56	1,64	7,53	8,077	3,05	179,1	456	10,456	174,6	3,35
30	15:08	1,64	7,57	8,034	2,25	175	439	10,378	173,1	3,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Continuación muestreo caso 5

No.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AR			Tanque de Captación de agua			Almacenamiento		
		Concentración Ferisol	Concentración de Horolit (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	pH	Cloro Libre (ppm)
1	7:27			7,287	3,1	92,2	9,834	390				
2	7:39			7,287	3,1	92,2	9,834	390				
3	7:46			7,158	2,75	87,1	9,913	283				
4	7:52			6,862	2,25	87,1	9,761	307				
5	8:24			6,873	2,15	74,1	9,795	290				
6	8:34	1,64	7,12	6,766	3,35	71,8	10,066	291				
7	8:56	1,64	7,29	6,779	2,15	72,9	10,353	338				
8	9:28			6,806	2,75	72,9	10,361	335				
9	9:37			6,688	1,9	73,5	10,067	278				
10	9:44	1,64	7,51	6,836	2,5	75,9	10,005	271				
11	10:06			6,874	1,75	77,7	10,008	299				
12	10:29			6,884	3	81,6	10,011	322				
13	10:32	1,64	7,58	6,948	1,95	84,2	10,246	339				
14	10:54	1,64	7,51	6,9	2,6	89,2	10,369	368				
15	11:09			6,917	2,45	91,6	10,293	368				
16	11:11			6,836	2,45	96,4	10,268	364				
17	11:36	1,64	7,53	6,829	2,5	102,6	9,943	354				
18	11:49	1,64	7,56	6,705	2,6	109,3	10,152	354				
19	12:07			6,763	2,75	110	10,151	367				
20	12:33			6,777	2,25	110	10,115	346				
21	12:51			6,892	3,05	114,6	10,022	330				
22	13:04			6,933	2,35	118,1	10,017	333				
23	13:17			7,165	4,35	150,1	10,01	350				
24	13:33			7,251	4,35	158,2	10,005	340				
25	13:46			7,128	3,8	161	10,009	357				
26	14:13			7,132	3,15	147,3	9,899	343				
27	14:41			7,077	1	147,3	10,061	379				
28	14:43			7,114	0,98	144,7	10,165	418				
29	14:56			7,079	0,84	148,8	10,196	399				
30	15:08			7,281	0,65	148,8	10,209	429				

Fuente: elaboración propia.

Tabla. Continuación muestreo caso 5

No.	Tiempo	Tanque de primer Enjuague		Chorros de Enjuague entrada de AR			Tanque de Captación de agua			Almacenamiento		
		Concentración Ferisol	Concentración de Horollit (pH)	pH	Cloro Libre (ppm)	Sólidos totales disueltos (TDS)	Sólidos totales disueltos (TDS)	pH	pH	pH	Sólidos totales disueltos (TDS)	Cloro Libre (ppm)
1	7:27			7,609	4,9	218	368	9,985	7,836	245	3,25	
2	7:39			7,569	4,25	217	309	9,772	7,864	236	7,3	
3	7:46			7,655	6,65	210	301	9,724	7,851	234	5,55	
4	7:52			7,585	5,9	209	299	9,72	7,712	206	5,75	
5	8:24			7,927	8,95	216	445	10,242	8,01	188,2	7,4	
6	8:34			7,929	8,95	216	445	10,242	8,01	188,2	7,4	
7	8:56			7,89	6,4	214	363	10,029	7,836	199,3	8	
8	9:28						353	9,992	7,844	209	8,3	
9	9:37						304	9,764	7,811	210	6,65	
10	9:44						302	9,717	7,777	211	3,1	
11	10:06	1,64	7,43	7,716	2,7	194,6	422	9,75	7,775	207	3,65	
12	10:29	1,64	7,51	7,428	1,28	163,4	499	10,306	7,424	153,6	1,34	
13	10:32	1,64	7,31	7,429	0,85	157,8	447	10,436	7,348	148,8	0,92	
14	10:54	1,64	7,47	7,399	0,64	154	433	10,394	7,346	146,8	0,74	
15	11:09	1,64	7,56	7,35	0,69	148	434	10,361	7,356	158,4	0,7	
16	11:11	1,64	7,59	7,243	6,25	149,6	439	9,379	7,054	144,1	6,75	
17	11:36	1,64	7,49	6,901	6,9	126,3	373	10,343	6,97	116	6,35	
18	11:49			6,474	5,75	108,7	372	10,168	6,545	105,2	4,45	
19	12:07	1,64	7,53	6,471	4,75	109	315	10,163	6,449	108,6	4,85	
20	12:33	1,64	7,58	6,492	5,7	109,7	368	9,978	6,679	108,1	4,75	
21	12:51	1,64	7,41	6,53	6,5	108,2		10,095	6,464	104,7	4,75	
22	13:04				3,65				6,705	98,2	3,35	
23	13:17				3,05				6,429	98	3,05	
24	13:33				3,6				6,341	96,7	1,95	
25	13:46				2,07							
26	14:13											
27	14:41											
28	14:43	1,64	7,57									
29	14:56	1,64	7,51									
30	15:08											
Promedio		1,64	7,41	7,49	6,91	168,65	404,00	10,22	7,70	200,76	4,13	
Desviación		0,00	0,15	0,54	1,72	61,24	91,68	0,30	0,46	57,43	1,95	
LSC				8,57	10,35	291,13	587,37	10,82	8,62	315,61	8,03	
LIC				6,41	3,48	46,17	220,63	9,61	6,78	85,91	0,23	
LSE				8,50	3,00	500,00	700,00	10,05	8,50	500,00	3,00	
LIE				5,00	1,00	10,00	200,00	9,00	5,00	10,00	1,00	
Cp				1,08	0,19	1,33	0,91	0,58	1,27	1,42	0,17	
LSE-Promedio				1,01	3,91	331,35	296,00	0,17	0,80	299,24	1,13	
Promedio - LIE				2,49	5,91	158,65	204,00	1,22	2,70	190,76	3,13	
Cpk				0,62	0,76	0,86	1,08	0,19	0,58	1,11	0,19	

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo I Norma COGUANOR NGO_29_005

COGUANOR NGO 29 005

3/7

Nota 3. El envase secundario se denomina también como "empaque".

4.9 Fuente de agua. Cuando se usa en referencia a productos de plantas de agua envasada o agua utilizada en la operación de plantas, se refiere a la fuente de agua si ésta proviene de manantial, pozo artesiano, pozo taladrado, sistemas de agua públicos o comunales. Esta fuente podrá ser aprobada por la autoridad sanitaria correspondiente.

4.10 Tratamiento. Proceso químico, físico o biológico, mediante el cual las sustancias objetables contenidas en el agua, son removidas o transformadas en sustancias inócuas.

5. ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS

5.1 Características físicas.

Cuadro 1. Características físicas del agua envasada para consumo humano

Característica	Valor máximo admisible
Sabor	No rechazable
Color	<5 unidades (1)
Turbiedad	<0.5 unidades (2)
pH	6.5-8.5
Olor	No rechazable
Sólidos disueltos	<500 mg/L

(1) Unidad de color en la escala de platino-cobalto.
 (2) En unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.

5.2 Características químicas.

Cuadro 2. Sustancias inorgánicas con significado para la salud (continuación)

Característica	Valor máximo admisible, en miligramos/litro
Aluminio	0.2
Antimonio	0.006
Arsénico	0.05
Bario	1.0
Berilio	0.004
Cadmio	0.005
Cianuro	0.1
Cloro	<0.1
Cloruro*	250.0
Cobre*	1.0
Cromo	0.05
Fluoruro	1.3
Hierro*	0.3
Manganeso*	0.05
Mercurio	0.001
Níquel	0.1
Nitrato	10.0
Nitrito	1.0
Total Nitrato/Nitrito	10.0
Plata	0.025

Continúa

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR NGO 29_005, p.3.