



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES CRÍTICAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE CULTIVO DE LANGOSTINO EN AGUA DULCE

Alvaro León-Caminati

Piura, enero de 2017

Facultad de Ingeniería

Área departamental de Ingeniería Industrial Y De Sistemas

León, A. (2017). *Sistema de monitoreo de variables críticas en el proceso productivo de cultivo de langostino en agua dulce* (Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú.

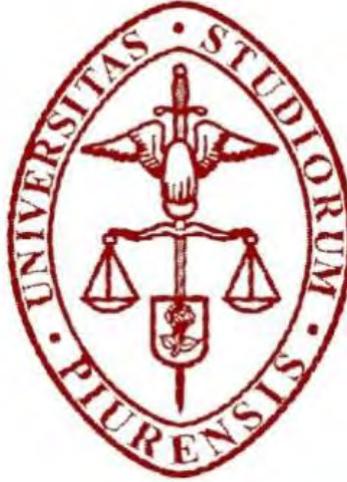


Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



“Sistema de monitoreo de variables críticas en el proceso productivo de cultivo de langostino en agua dulce”

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas

Alvaro Rodolfo León Caminati

Asesor: Dr. Ing. Susana Vegas Chiyón

Piura, enero 2017

## **Prólogo**

La demanda del langostino ha incrementado considerablemente en los últimos años a nivel mundial y Perú ha sido uno de los países que ha aprovechado esta demanda aumentando su producción, sin embargo el proceso de producción de langostino es un proceso que demanda mucho control y monitoreo porque las variables son muy vulnerables a los cambios, los cuales pueden ser determinantes para el crecimiento del langostino.

En la actualidad, Perú no cuenta con un sistema eficaz de monitoreo por lo que el objetivo de esta investigación es ayudar a elaborar un sistema de monitoreo que ayude a disminuir los riesgos existentes en el proceso.

Financiado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú), de acuerdo al contrato 377-PNICP-PIAP-2014.

## **Resumen**

El presente trabajo evaluó a una empresa piurana productora de langostino en agua dulce, con el objetivo de analizar el proceso de cultivo para implementar un sistema de monitoreo y/o control eficaz por medio cartas de control y gráficos.

Para ello, se analizó la data desde la campaña del 2008 hasta la campaña del 2013 para determinar las variables críticas del proceso, dentro de las cuales se escogió la variable peso como la más representativa para su análisis.

Como conclusión de este estudio, se afirma que el monitoreo y/o control del proceso de cultivo de langostino puede realizarse por medio de un sistema de cartas de control y gráficos y así tener una mejor visibilidad del comportamiento de las variables; de esta manera, se pueden detectar anomalías con mayor rapidez, pudiéndose tomar las medidas correctivas oportunamente y asegurar la buena marcha del proceso. Esto será de gran ayuda para las áreas de producción y calidad de la empresa.

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Situación actual .....	3
Capítulo 2. Proceso productivo del langostino .....	5
2.1.    Etapas del proceso productivo.....	5
2.1.1.    Planificación de la producción .....	5
2.1.2.    Compra de larva.....	6
2.1.3.    Recepción de larva.....	6
2.1.4.    Aclimatación.....	7
2.1.5.    Preparación de piscinas precrías.....	9
2.1.6.    Precría.....	9
2.1.7.    Engorde.....	10
2.2.    Descripción de variables.....	12
2.2.1.    Alimento .....	12
2.2.2.    Peso.....	14
2.2.3.    Densidad .....	15
2.2.4.    Sulfato de cobre .....	15
2.2.5.    Hidróxido de sodio .....	15
2.2.6.    Vitamina C.....	15
2.2.7.    Melaza .....	16
2.2.8.    Aireación .....	16
2.2.9.    Temperatura.....	17
2.2.10.    Oxígeno .....	18
2.2.11.    PH.....	19
2.2.12.    Visibilidad o nivel de claridad del agua (SECCHI) .....	20
2.2.13.    Salinidad.....	21
2.2.14.    Alcalinidad (carbonato de calcio $\text{CaCO}_3$ ) .....	22
2.2.15.    Amonio $\text{NH}_3$ .....	23
2.2.16.    Nitritos $\text{NO}_2$ .....	24
2.2.17.    Nitratos $\text{NO}_3$ .....	25
2.2.18.    Fosfato $\text{PO}_4$ .....	25

2.2.19.	Productividad columna de agua.....	25
2.2.20.	Columna de agua .....	27
2.2.21.	Análisis de suelo .....	28
Capítulo 3. Identificación de variables críticas en el proceso de cultivo de langostino y oportunidades de mejora.....		29
3.1.	Análisis de las variables actuales.....	30
3.2.	Identificación de variables críticas .....	31
3.3.	Análisis del proceso actual .....	31
3.4.	Identificación de oportunidades de mejora.....	32
Capítulo 4. Propuesta del sistema de monitoreo y control.....		33
4.1.	Diseño de cartas de control estadístico para variables críticas.....	38
4.2.	Validación de las cartas propuestas .....	39
Conclusiones y recomendaciones .....		41
Referencias .....		43
Anexo A .....		45
Anexo B.....		113
Anexo C.....		119

## Introducción

El langostino *Litopenaeus Vannamei*, también conocido como *White Shrimp* (Langostino Blanco en Perú), es una especie de crustáceo decápodo de la familia Penaeidae, nativo del oriente del Océano Pacífico, desde el estado de Sonora, México, hasta el noroeste del Perú.<sup>1</sup>

La demanda mundial del langostino ha ido incrementando a lo largo de los años y Perú es uno de los países que ha aprovechado esta demanda incrementando su producción. En el 2013, Perú ocupó el puesto 28 entre los principales países exportadores de langostinos sumando US\$ 128.9 millones y en el 2014 sumó US\$ 162.1 millones, lo que significó un incremento de 25% en relación al 2013. EE.UU. fue su principal destino, seguido de España, Francia, Corea del Sur, Rusia y Canadá.<sup>2</sup>

Es en el norte del Perú donde las empresas están apostando por este negocio, sin embargo uno de los problemas del cultivo de langostinos es poder controlar y/o monitorear las variables del proceso de tal modo que se obtenga un langostino de calidad en el menor tiempo y con el menor gasto posible.

---

<sup>1</sup>Panaeus vannamei (Boone, 1931); FAO

<sup>2</sup>ADEX Perú

## Capítulo 1

### Situación actual

En el año 2009, la pesca de captura y la acuicultura han suministrado al mundo unos 162.8 millones de TM de pescado y plantas acuáticas para la alimentación a través del consumo humano directo e indirecto, de los cuales unos 73 millones de TM provinieron de acuicultura; es decir, un 44.8% del total. Así mismo, la acuicultura mundial en los últimos 30 años, ha tenido un crecimiento importante a una tasa anual de 8.3%, siendo uno de los sectores de alimentación humana con el mejor desempeño en crecimiento comparado con otros sectores productores de proteína animal. (Ramírez, 2011)

La acuicultura peruana está orientada principalmente al cultivo de camarones peneidos (*Litopenaeus vannamei*), concha u ostión abanico (*Argopecten purpuratus*), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y tilapia (*Oreochromis spp*). La cosecha de la acuicultura peruana en el año 2010 alcanzó poco más de 89 mil toneladas, y el crecimiento en el periodo 2000 – 2009 fue a una tasa anual de 20.8%. (Ramírez, 2011)

Como se puede apreciar, la acuicultura viene tomando un papel importante dentro de los sectores productores de proteína animal y es el sector que más rápido ha crecido en los últimos años. Es por ello que se viene haciendo investigaciones para mejorar la producción en la acuicultura, ya que dentro de ésta se tiene que monitorear y/o controlar ciertas variables durante el proceso de crianza.

Hasta el momento, muchas empresas monitorean y/o controlan las variables con la toma de datos manualmente, que posteriormente son ingresados a una hoja de cálculo. De esta manera, el proceso está limitado en cuanto a eficiencia, ya que para ello se requiere de mayor personal y tiempo, pues de la hoja de cálculo no se puede obtener toda la información necesaria para la toma de decisiones. Sin embargo, con la ayuda de la tecnología se busca automatizar el proceso para que la toma de datos pueda ser automáticamente, y si es posible mediante sensores, y que los datos sean ingresados o enviados directamente a un sistema, el cual ayude al manejo de información y a obtener un mejor rendimiento en el proceso.

Durante estos años, se viene desarrollando y mejorando sistemas que ayudan a mejorar los procesos en la acuicultura, obteniendo resultados muy satisfactorios; pues

esto ha permitido a anticipar problemas en el proceso, corrigiendo variables y tomando decisiones en el momento preciso. (Alagappan & Kumaran, 2013)

Así mismo, en el Perú, la empresa Industrias Aquafood SAC ha desarrollado un sistema que permite realizar la planificación y a su vez el seguimiento de la gestión de la producción de truchas, de este modo se sustituye las hojas de cálculo por dispositivos electrónicos, que a través de éstos se ingresan los datos vía online.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup><http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-fidecom-aquasoft-crea-software-para-planificar-produccion-truchas-494753.aspx>

## **Capítulo 2**

### **Proceso productivo del langostino**

El langostino al ser un animal tan pequeño y delicado, es más susceptible a cualquier cambio que puede ser determinante en su crecimiento, por ello el proceso productivo del langostino es un proceso en el que se necesita de mucha coordinación y cuidado.

Para un mejor control, el proceso se divide en etapas. A continuación veremos lo que comprende cada una de ellas.

#### **2.1. Etapas del proceso productivo**

##### **2.1.1. Planificación de la producción**

El proceso productivo del langostino comienza con la planificación de la siembra, la cual es registrada en una hoja de cálculo que contiene la siguiente información:

- Larva necesaria a comprar.
- Fechas tentativas de siembra.
- Cantidad de alimento a consumir.
- Densidad de siembra (cantidad de langostino por metro cuadrado a sembrar).
- Pesos tentativos de cosecha.
- Biomasa a cosechar.
- Recursos requeridos.

La campaña de producción se planifica entre los meses de mayo y junio, la cual empieza en julio del presente año a mayo del año próximo con el propósito de comprender los meses de mayor temperatura, ya que es conocido que la temperatura elevada mejora las condiciones de desarrollo del langostino, porque éste comerá más y por ende llegará a su peso deseado en menor tiempo.

Para finalizar la etapa de planificación, se realiza una visita a los laboratorios de maduración (productor de Nauplios<sup>4</sup>) para determinar dónde comprar los Nauplios, tomando como base los criterios acordados por la empresa para la selección de laboratorios de maduración.

### 2.1.2. Compra de larva

De acuerdo a lo pactado en la etapa anterior, se hace los requerimientos respectivos a los proveedores, tanto de larva como los insumos para la aclimatación: artemia<sup>5</sup>, alimento balanceado, agua salada, vitamina C. Estos insumos permitirán que la larva pueda sobrevivir al cambio de agua salada a agua dulce.

En cuanto a la larva, se programa la compra en base a la cantidad de piscinas que se va a sembrar y a la infraestructura disponible tanto en la aclimatación (“raceways” disponibles) y precría. La compra se realiza a proveedores calificados, seleccionando las larvas *in situ* por un periodo de 20 días aproximadamente. Personal de la empresa viaja nuevamente a los laboratorios para cerciorarse de que la larva que se enviará al campo sea la pactada en la compra.

### 2.1.3. Recepción de larva

Las larvas llegan a la empresa protegidas en fundas plásticas de 14 litros, dentro de cajas de cartón, cada bolsa contiene entre 4550 y 5500 larvas, dependiendo de la distancia de donde se compre. El agua en el que se envían las larvas tiene las siguientes características:

- Tiene un rango de 10 a 15 ppt de salinidad
- Temperatura entre 20 y 28°C
- Oxígeno > 10.00 mg/L
- PH entre 7.0 y 8.9

Además de los datos anteriores, también se registra la hora de llegada, el total de larvas, el laboratorio de procedencia y los resultados de los análisis químicos y microbiológicos realizados en el laboratorio de sanidad acuícola. Posteriormente son puestos en los “raceways”, los cuales son tanques de triplay marino cubiertos por geomembrana<sup>6</sup> y techados con plásticos UV en los cuales la temperatura es controlada suministrando agua caliente al tanque para su aclimatación.

---

<sup>4</sup>Nauplio: Primera larva característica de los crustáceos.

<sup>5</sup>Artemia: Es un género de crustáceos branquiópodos, que se utiliza como base de alimentación del langostino.

<sup>6</sup>Geomembrana: Láminas geosintéticas que aseguran la estanquidad de una superficie. Se utilizan con el fin de prevenir la contaminación del agua con los posibles contaminantes del suelo.



Figura 1. Recepción de larvas en bolsa

#### 2.1.4. Aclimatación

Esta etapa dura entre 8 y 12 días, dependiendo de la salinidad en que se encuentran las larvas desde su llegada, pues si el agua es muy salina la larva permanecerá más días, y menos de lo contrario. El objetivo de esta etapa es:

- Bajar la salinidad del agua y que las larvas se adecuen al agua dulce del medio. Para ello se lleva a cabo recambios de agua diarios hasta bajar la salinidad a menos de 0.5 ppt. aproximadamente, llevándose un control establecido por la empresa, en el que se indica la salinidad diaria a la que se llega, cantidad de agua cambiada por día, cantidad de insumos requeridos y las horas de recambio. Así mismo, se lleva un control diario de las medidas de oxígeno, temperatura, PH por cada “raceways”.
- Lograr larvas que aseguren la resistencia a la siguiente etapa de cultivo, esto es que resistan al cambio de hábitat (de raceways a piscinas de tierra o geomembrana según la disponibilidad). En esta etapa se quiere lograr que las larvas crezcan de tal forma que resistan el cambio de un hábitat controlado, como lo es los raceways, a un hábitat menos controlado, como lo es las piscinas, ya que éstas se encuentran al aire libre y por lo tanto, son más propensas a sufrir cambios de temperatura mayores, ya que la temperatura del agua de las piscinas está determinada por la temperatura del ambiente.
- La alimentación se basa en artemia salina y alimento balanceado. Con la finalidad de que las larvas se adecuen a consumir alimento balanceado. Durante los primeros 6 días, la alimentación consiste en ambos tipos de alimentos. Después de este periodo, solo recibirá alimento balanceado. Como se sabe, la artemia es un género de crustáceos branquiópodos con un alto valor nutricional y en particular son una excelente fuente de proteínas, es por ello que se utiliza como alimento en los primeros días de vida de la larva; sin embargo, poco a

poco la proporción de artemia irá disminuyendo hasta ser el alimento balanceado la única fuente de alimento de los langostinos. Esto favorecerá económicamente el proceso, ya que el alimento balanceado es más económico que la artemia.

La temperatura del agua de los raceways al momento de la recepción de la larva oscila entre 20 a 28°C, la cual irá subiendo relativamente hasta llegar a una temperatura de 31.4°C a 33.4°C, haciendo uso de los calentadores instalados en el área. De esta manera, se consigue eliminar alguna presencia de virus WSSV<sup>7</sup> (virus de la mancha blanca) en el animal y además que haya una mejor nutrición tomando en cuenta que su metabolismo se acelera cuando hay una mayor temperatura.

Los datos de la larva de esta etapa son:

- ✓ Tiempo: de 8 a 12 días
- ✓ Supervivencia: 85%
- ✓ Crecimiento: llegan de 0.002 gramos y salen 0.015 gramos en un tiempo de 10 días.
- ✓ Densidad: un millón cien (1 000 100 por "raceway", cada uno tiene 30 metros cúbicos; por lo tanto hay 36666 animales por metro cúbico)



Figura 2. Las bolsas con larvas se dejan por unos minutos cerradas para que la temperatura del agua de la bolsa se iguale a la temperatura del agua del raceway

---

<sup>7</sup> WSSV: White Spot Syndrome Virus o Virus de la Mancha Blanca, es la enfermedad más devastadora para el langostino de cultivo.



Figura 3. Raceway del proceso de aclimatación

### 2.1.5. Preparación de piscinas precrías

Antes de transportar las larvas de los raceways a piscinas de precrías, estas últimas son preparadas realizando el gradeo<sup>8</sup> de las mismas y en algunas oportunidades encalado<sup>9</sup>. Previamente estas piscinas han pasado por un proceso de secado (proceso de exposición al sol). En el caso de las piscinas con geomembrana se realiza una limpieza con agua.

### 2.1.6. Precría

Etapa en la que el animal llega a pesar de 0.7 a 1 g, dura aproximadamente de 25 a 30 días. Las piscinas de precría están provistas de 10 aireadores por piscina, así mismo están techadas por plástico UV que la da la condición de invernadero.

Se realizan controles de consumo de alimento, parámetros del agua (oxígeno, temperatura, PH) y transparencia. Estos controles son diarios excepto el PH que serán tomados una vez por semana, obteniendo el valor mínimo en la madrugada, que por naturaleza es alrededor de las 06:00 de la mañana y un valor máximo a las 06:00 de la tarde aproximadamente. Todos estos datos son registrados en una hoja de cálculo para un mejor control.

También se realizan controles sanitarios que se llevan a cabo de acuerdo a los estándares de la empresa. En los controles sanitarios se realizan cultivos de bacterias en TCBS (vibrios). Consiste en usar una placa de agar que es una placa de Petri para cultivar microorganismos, en este caso se utiliza un agar TCBS (Tiosulfato – Citrato

<sup>8</sup> Gradeo: Consiste en remover la tierra con una herramienta utilizada en la agricultura (grada).

<sup>9</sup> Encalado: Consiste en incorporar al suelo calcio y magnesio para neutralizar la acidez del mismo.

– Bilis - Sacarosa) que permite el crecimiento de todas las especies patógenas del género *Vibrio*<sup>10</sup>.

Los datos de la larva en esta etapa son:

- ✓ Tiempo: de 25 a 30 días.
- ✓ Supervivencia: 65%
- ✓ Crecimiento: llega a pesar 1 gramo en 25 días aproximadamente.
- ✓ Densidad: de 7 a 12 millones por hectárea.



Figura 4. Piscina recubierta de geomembrana y techada con plástico UV

### 2.1.7. Engorde

Etapa en la que se llega al peso comercial dependiendo de la estación, se realiza en un periodo de 130 a 180 días aproximadamente.

Durante esta etapa se controlan parámetros de consumo de alimento, mortalidad, incremento de pesos, parámetros del agua (temperatura, oxígeno, PH, transparencia), estos controles se realizan diariamente, exceptuando el incremento de pesos y PH (serán tomados una vez por semana, mínima y máxima). Al igual que en todas las etapas, estos datos son registrados en una hoja de cálculo.

En esta etapa se realiza el sifoneo<sup>11</sup> de las piscinas para eliminar la materia orgánica proveniente de los desechos de los langostinos y por ende, controlar de esta manera que los niveles de amonio y nitritos químicos (NH<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>) no se incrementen perjudicando a los langostinos, ya que la descomposición de la materia orgánica puede producir amoniaco y contaminar el ambiente del langostino.

También se realiza recambios de agua cuando las algas, especialmente las cianofitas, aumentan a niveles perjudiciales para un normal crecimiento del langostino. En el siguiente apartado, se describe la medición de las algas como una variable para su mejor comprensión.

A continuación podemos ver el diagrama de flujo del proceso.

<sup>10</sup> *Vibrio*: Es un género de bacterias, incluidas en el grupo gamma de las proteobacterias. Varias de las especies de *vibrio* son patógenas y provocan enfermedades del tracto digestivo, que se transmiten a través de la ingesta de marisco.

<sup>11</sup> Sifoneo: Técnica mediante la cual se extraen desechos y agua del fondo de la piscina mediante una manguera.

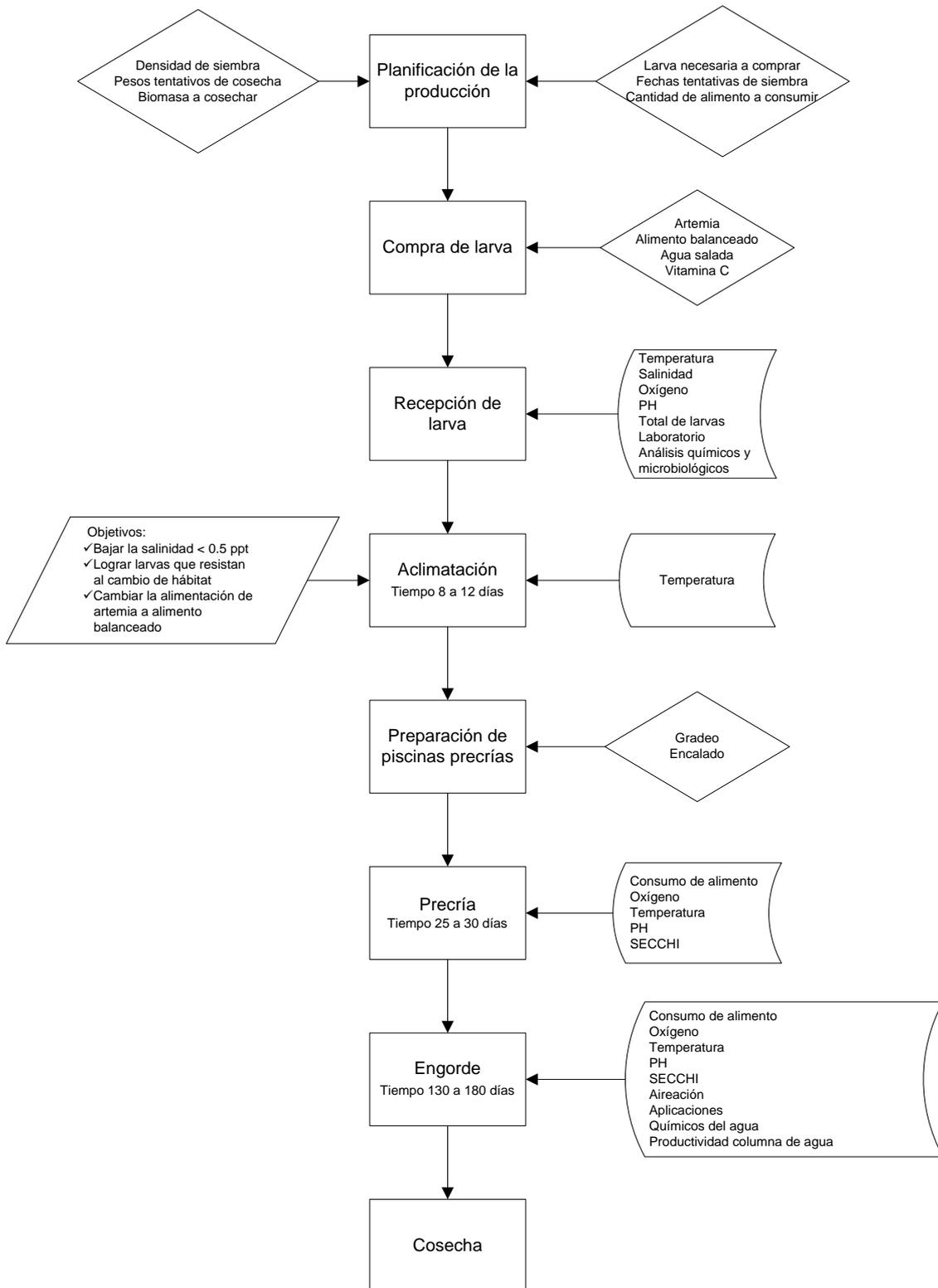


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de producción de langostino

Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Descripción de variables

La empresa emplea un formato predeterminado para el registro de la toma de datos, a continuación se describe las variables que se registran.

### 2.2.1. Alimento

Se registra la cantidad de alimento en kg que se le suministra a la piscina diariamente. El alimento se suministra de dos formas, la primera es “al voleo”, de forma similar que se le alimenta a las gallinas, tratando de cubrir un 80% de la piscina, y la segunda es colocándolo en los alimentadores que posee la piscina. Dichos alimentadores permiten comprobar la cantidad de alimento que se tiene que suministrar al día siguiente, pues existen una tabla en que relaciona la densidad de la piscina (cantidad de langostinos que contiene la piscina por metro cuadrado) y el alimento consumido en el día, de tal forma sabrán si tienen que aumentar o disminuir la cantidad de alimento que se va a suministrar al día siguiente.

De esta manera, pueden economizar el proceso, ya que suministrarán la cantidad de alimento que el langostino necesita.



Figura 6. Alimentación por “voleo”, se tira alimento por el contorno de la piscina



Figura 7. Alimentador

A continuación podemos ver un ejemplo de cómo varía la cantidad de alimento suministrado diariamente.

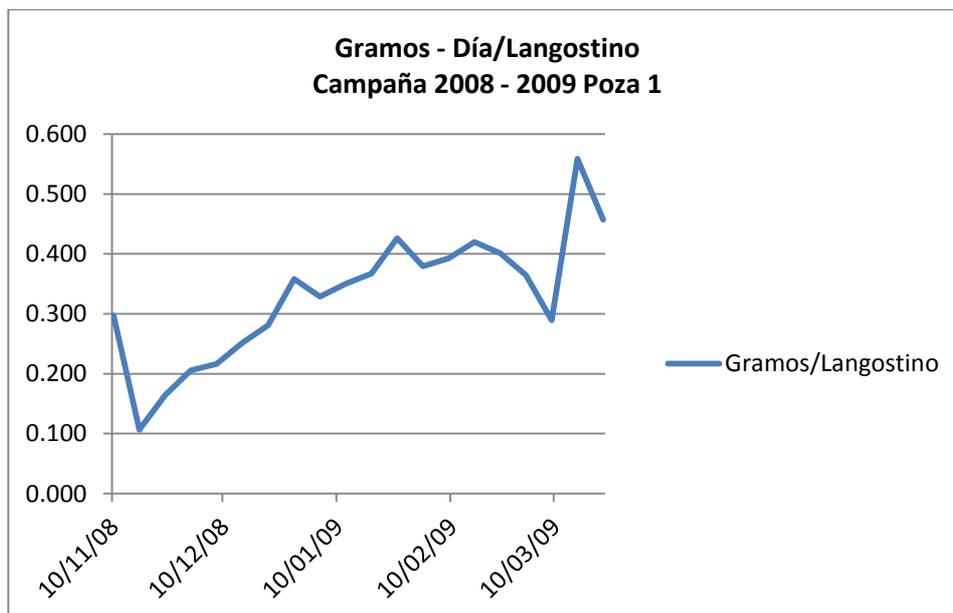


Figura 8. Gráfico gramos-día/langostino  
Fuente: Elaboración propia

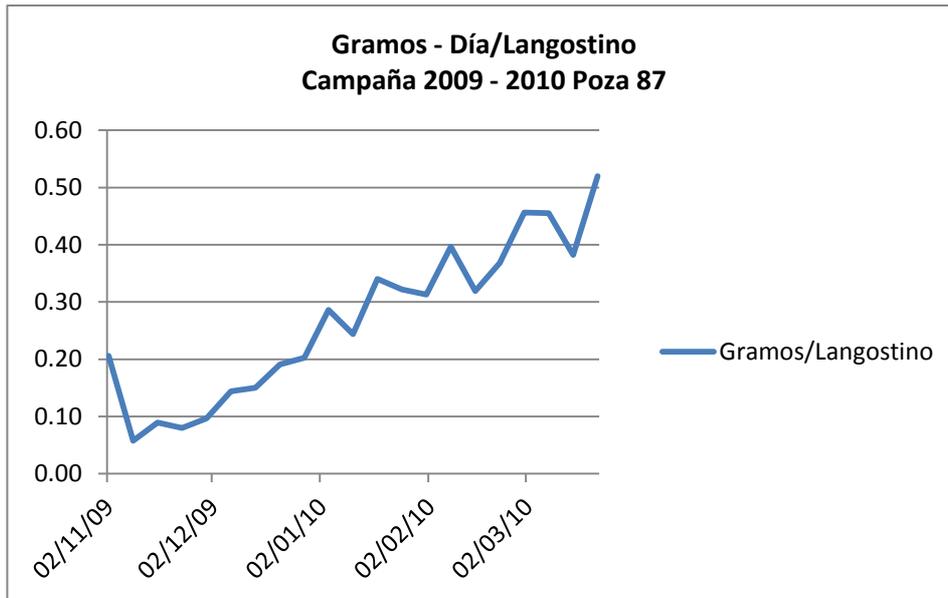


Figura 9. Gráfico gramos-día/langostino  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2. Peso

Para determinar el peso del langostino se hace un muestreo semanal para lo cual se sacan de tres puntos diferentes de la piscina una muestra mínima de cien langostinos capturados con una atarraya (red de pescar), los cuales son pesados en balanza.

En los siguientes cuadros se puede apreciar el incremento del peso.

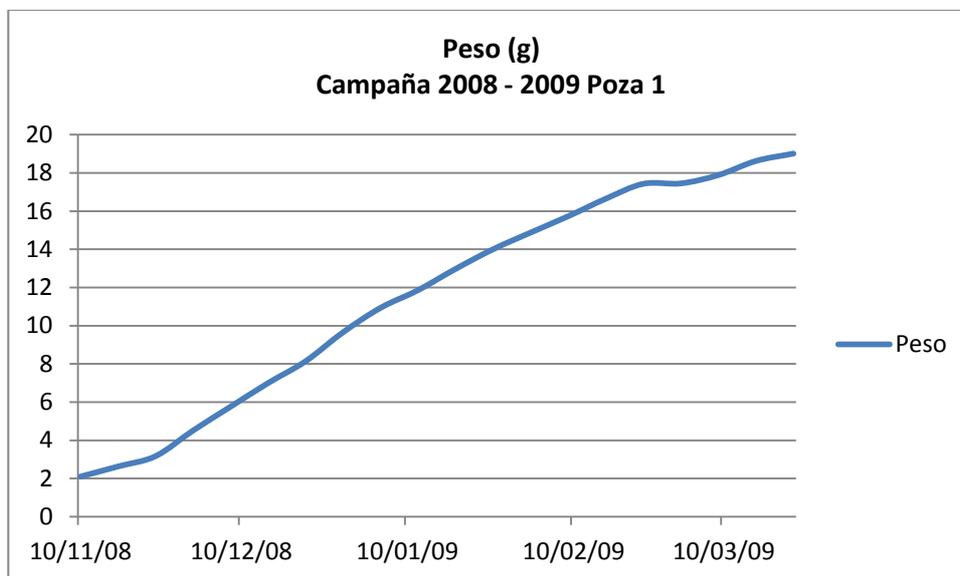


Figura 10. Gráfico de la variable peso  
Fuente: Elaboración propia

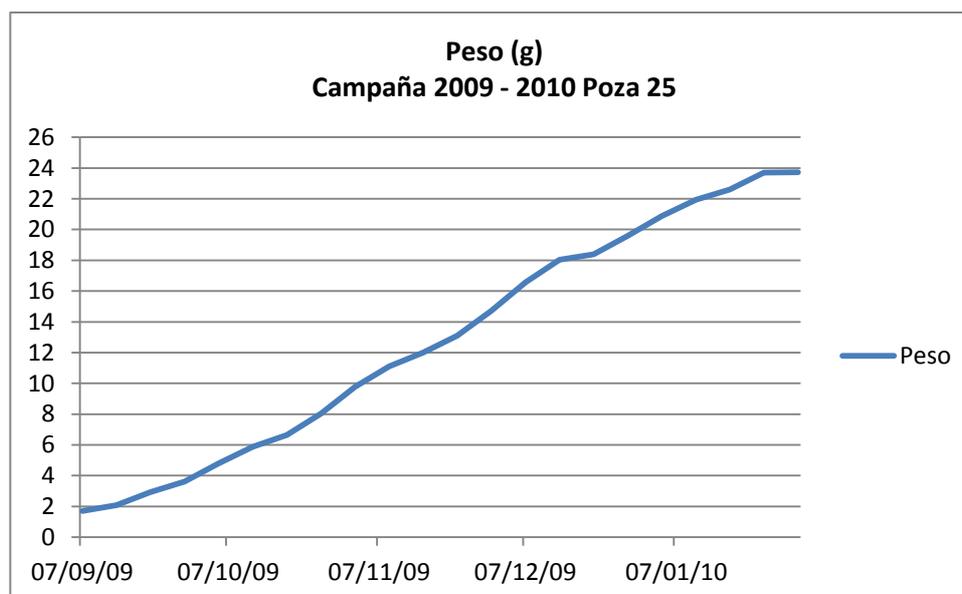


Figura 11. Gráfico de la variable peso  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.3. Densidad

Es el número promedio de langostinos que hay en la piscina por metro cuadrado. Se ha visto en los registros que la densidad varía entre 25 a 60 langostinos por metro cuadrado aproximadamente.

### 2.2.4. Sulfato de cobre

En algunas ocasiones es necesario suministrar una pequeña cantidad de sulfato de cobre (entre 0.2 a 1 ppm) para eliminar las algas, especialmente las Cianofitas, debido a que el exceso de este tipo de alga en la piscina produce toxicidad en el langostino y además ocasiona una coloración del agua de tonalidad verdosa. La cantidad suministrada es registrada en una hoja de cálculo; sin embargo debido a la gran variedad de tonalidades por la presencia de las Cianofitas, es difícil registrar dicha tonalidad. Cuando el agua tiene un color verde fuerte y un olor fuerte nos indica la presencia de toxinas que se están diluyendo en el agua, lo cual es perjudicial para el langostino.

### 2.2.5. Hidróxido de sodio

El Hidróxido de Sodio es utilizado para desinfectar el fondo de la piscina. Además en época de lluvia se utiliza como tratamiento del agua, ya que ayuda a la sedimentación y la purificación del agua. El hidróxido de sodio es diluido en agua dentro de unos recipientes y luego esta solución se aplica en las piscinas. Con ayuda de los aireadores se homogeniza en toda la piscina. La cantidad de hidróxido de sodio aplicada es registrada en la hoja electrónica de la data de campo.

### 2.2.6. Vitamina C

La Vitamina C al ser suministrada cumple dos funciones, la primera es para eliminar la cloramina, compuestos químicos que se forman de los residuales de cloro

y aminos presentes en el agua que afectan la condición de la post larva. La segunda función es servir como suplemento alimenticio, sin embargo esta función es más empleada en los raceways, en la etapa de aclimatación.

### 2.2.7. Melaza

La melaza es un producto espeso y dulce derivado de la caña de azúcar. Se utiliza como una fuente de carbono para la reproducción de bacterias que se utilizan como probióticos (bacterias buenas) para que eliminen a las bacterias dañinas. Además, sirve de recubrimiento de la vitamina C para cuando se aplique en el alimento balanceado, la vitamina no se pierda en el agua antes de que el langostino lo haya digerido.

### 2.2.8. Aireación

Se registra las horas y número de aireadores que han trabajado en una determinada piscina. Los aireadores son unos dispositivos eléctricos que por medio de paletas giratorias oxigenan y homogenizan el agua.



Figura 12. Aireador



Figura 13. Aireador en funcionamiento

### 2.2.9. Temperatura

Se registra la temperatura mínima y máxima del agua en el día. La temperatura ideal es entre 27°C y 29°C. Sin embargo, se registran temperaturas entre 23°C y 29°C, y esto se debe a que la temperatura es una variable que no se puede controlar porque la piscina esta al aire libre, por lo que dependen de la temperatura ambiental. La temperatura es medida mediante un oxímetro que sirve para medir oxígeno y temperatura. Se utiliza los valores en grados centígrados como unidad de medida y éstos son registrados en la hoja electrónica de la data de campo.

En los siguientes cuadros se puede apreciar cómo varía la temperatura del agua de la piscina durante la campaña.

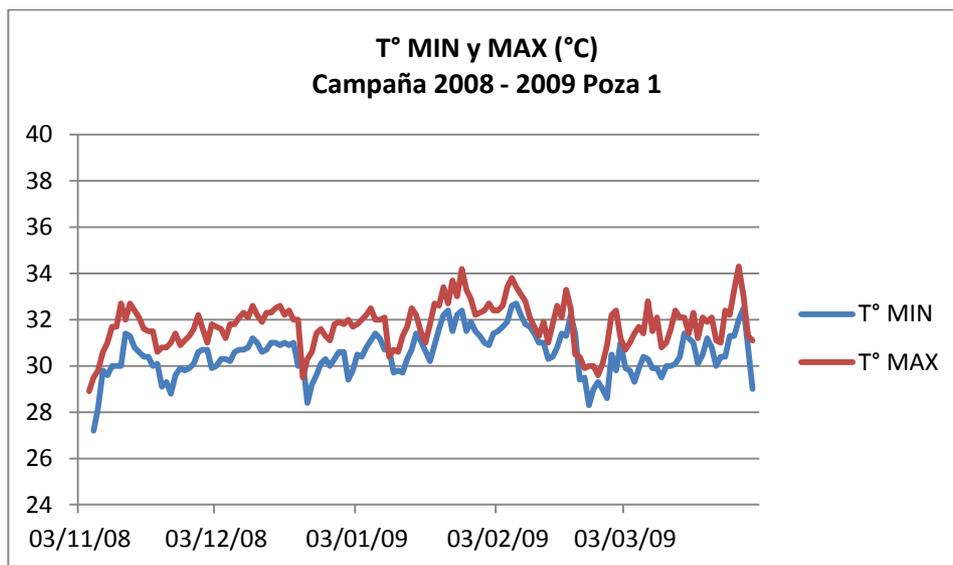


Figura 14. Gráfico de la variable temperatura mínima y máxima  
Fuente: Elaboración propia

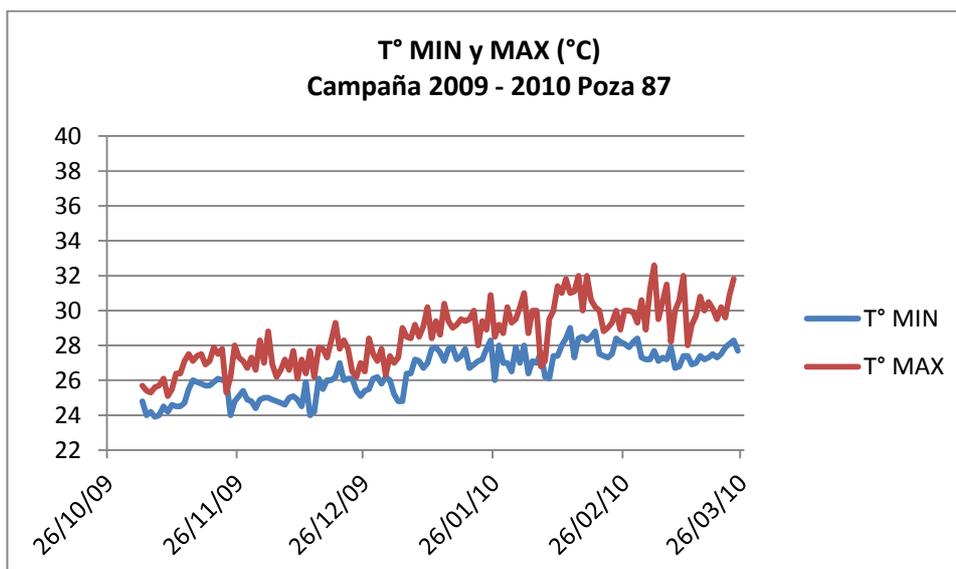


Figura 15. Gráfico de la variable temperatura mínima y máxima  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en los gráficos anteriores, la temperatura dependerá de que tan cálido sea el año.

### 2.2.10. Oxígeno

Es el grado de oxígeno que contiene la piscina en determinados momentos del día. Está definido en partes por millón y se procura de que esté por encima de los 4 ppm. Como se mencionó en la variable anterior, el oxígeno es medido por un oxímetro y la unidad de medida es mg/L y al igual que las demás variables se registra en la hoja electrónica de la data de campo. Esta variable es afectada por las algas presentes y por los desperdicios del langostino, así mismo por el consumo de éstos para sobrevivir. Para controlar el oxígeno se hace uso de aireadores que se colocan en el contorno de la piscina, y/o se hace recambios de agua para mejorar las condiciones.

En los siguientes cuadros se puede apreciar la variación del oxígeno durante la campaña.

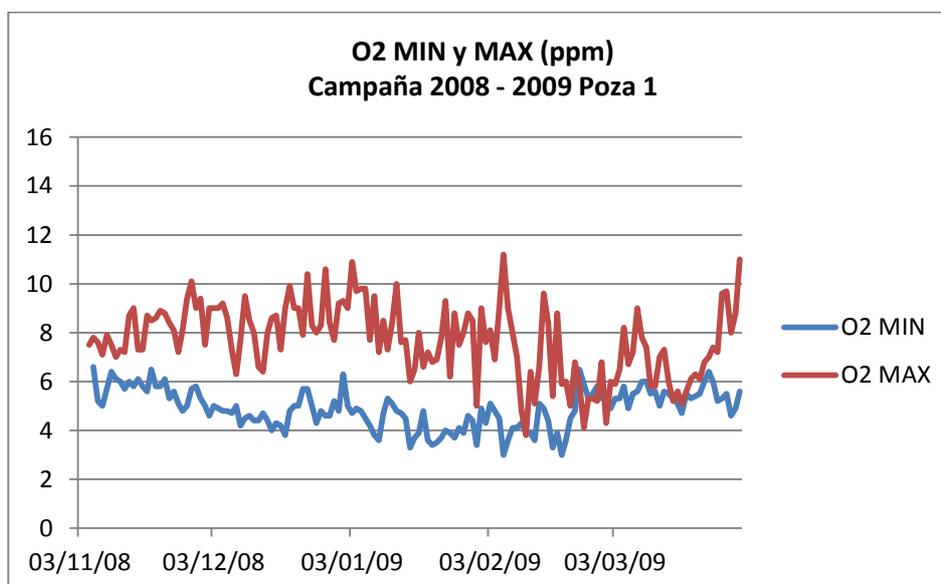


Figura 16. Gráfico de la variable oxígeno mínimo y máximo  
Fuente: Elaboración propia

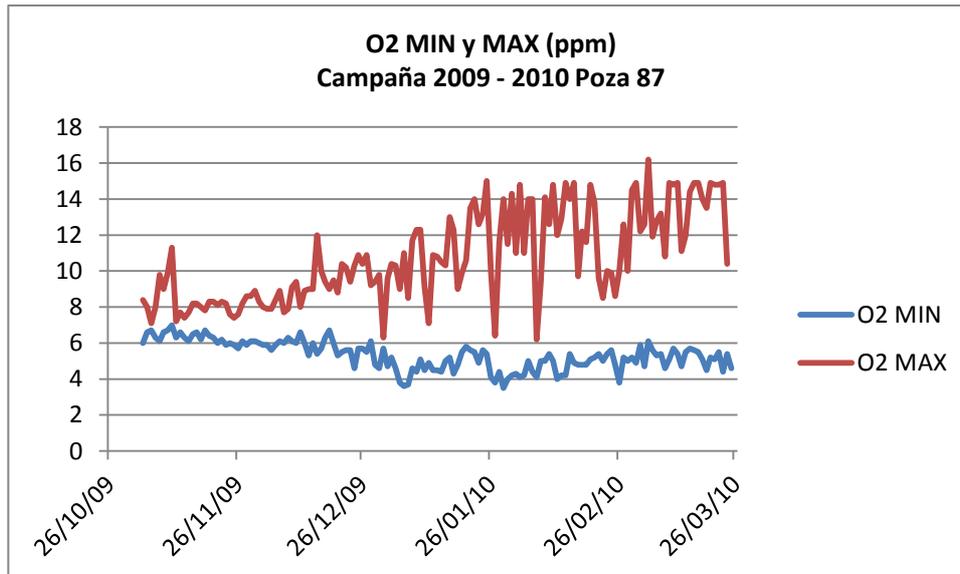


Figura 17. Gráfico de la variable oxígeno mínimo y máximo  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.11. PH

El PH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. Para nuestro caso de estudio, la disolución es el agua de las piscinas donde viven los langostinos. Así mismo, para valores ácidos (menores a 7) y alcalinos (mayores a 9) afectan negativamente el crecimiento del langostino, ya que se forman diferentes compuestos que tienen influencia en el metabolismo del langostino. El PH óptimo es entre 7.5 y 8.5; sin embargo, se registran valores entre 7 y 9. La manera de “controlar” esta variable es por medio del recambio de agua, lo que mejorará la condición de ésta.

En los siguientes cuadros se pueden apreciar la variación del PH durante la campaña.

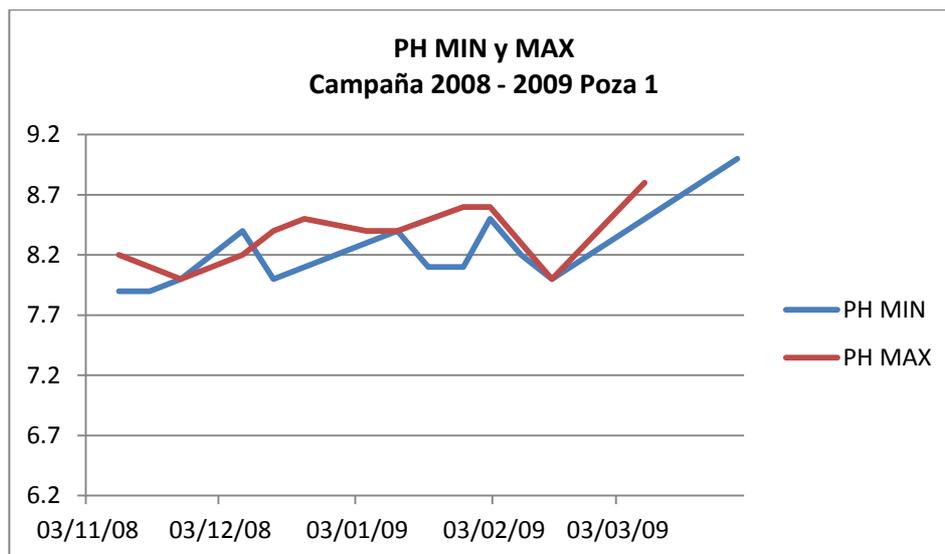


Figura 18. Gráfico de la variable PH mínima y máxima  
Fuente: Elaboración propia

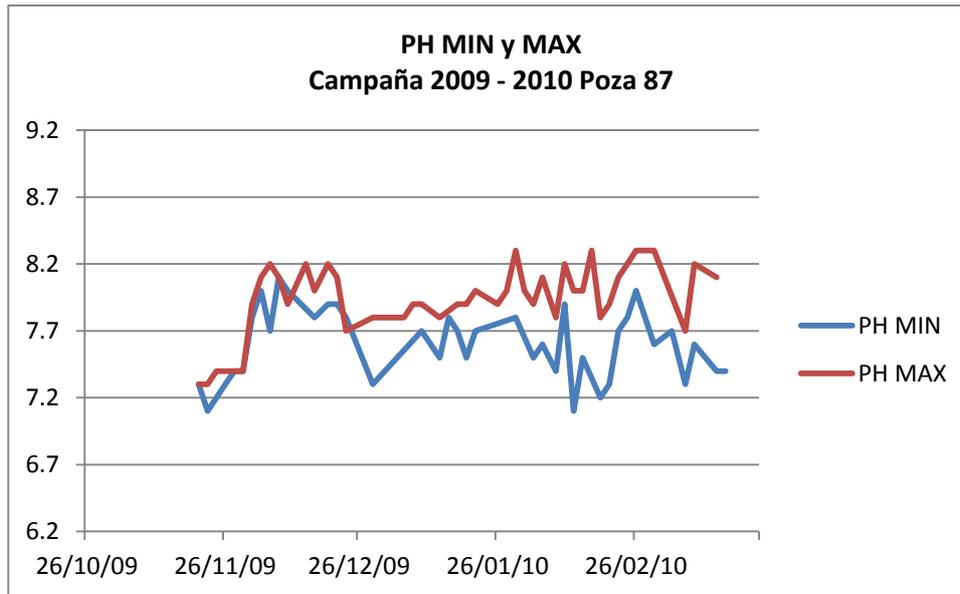


Figura 19. Gráfico de la variable PH mínima y máxima  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.12. Visibilidad o nivel de claridad del agua (SECCHI)

Se le define como cantidad de luz que puede ingresar al agua. Se mide mediante la distancia, desde la superficie del agua, hasta donde se logra observar el fondo de la misma, para ello se utiliza un disco pintado de blanco y negro atado a una pita como se observa en la foto. Lo óptimo para esta variable es que exista una claridad entre 45 y 55 cm, pero se llega a trabajar con valores de 40 y 50 cm obteniendo buenos resultados en la cosecha, principalmente en el crecimiento obteniendo como resultado el peso proyectado para la campaña. La manera de mejorar la visibilidad del agua es por medio del recambio de agua y también por el sifoneo (limpieza de sólidos en el fondo). La frecuencia con que se mide es diaria, sin embargo la data muestra que de vez en cuando se mide cada dos días.

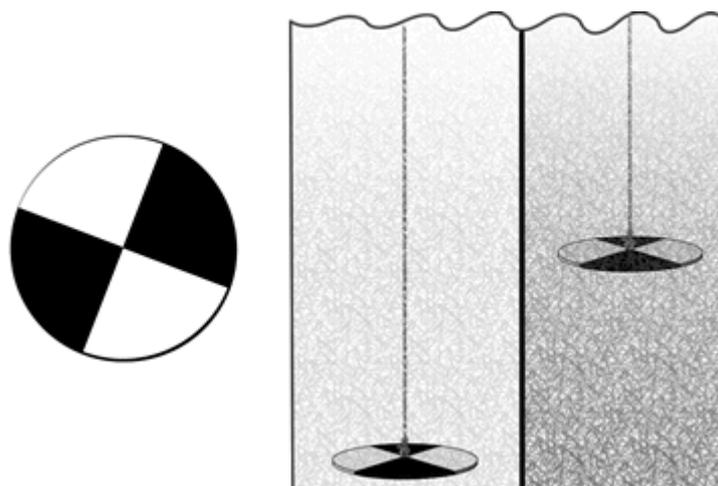


Figura 20. Instrumento de medición Secchi

En los siguientes cuadros se puede ver la variación de la visibilidad de las piscinas.

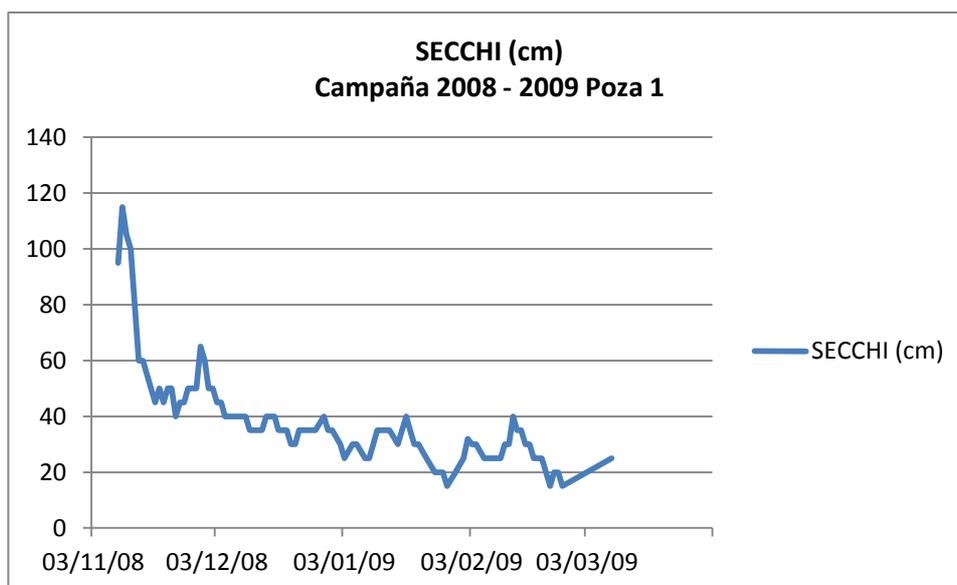


Figura 21. Gráfico de la variable SECCHI  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.13. Salinidad

Esta variable se registra muy esporádicamente, semanalmente, ya que según el historial del agua la variabilidad de la salinidad es insignificante. Los valores registrados no superan los 0.5 ppm.

A continuación podemos apreciar la variación de la salinidad en época de campaña.

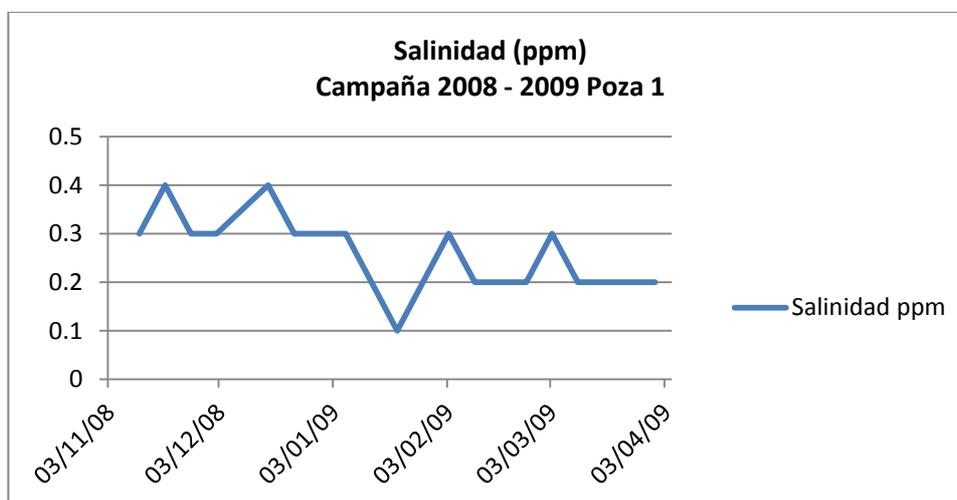


Figura 22. Gráfico de la variable salinidad  
Fuente: Elaboración propia

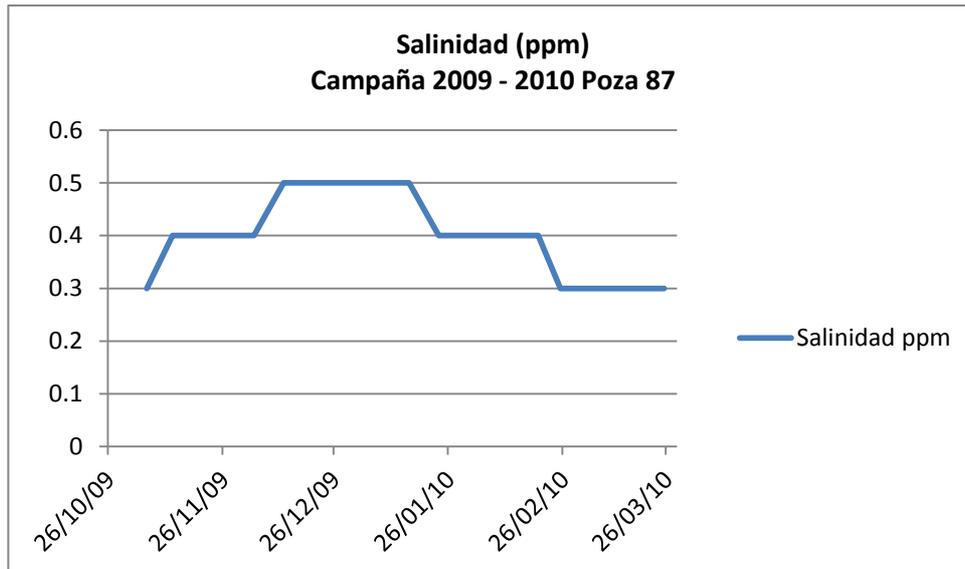


Figura 23. Gráfico de la variable salinidad  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.2.14. Alcalinidad (carbonato de calcio $\text{CaCO}_3$ )

Una de las variables obtenidas del análisis del agua en el laboratorio, es la alcalinidad, la cual se monitorea para que esté por encima de los 100 ppm. Cuando baja de este valor se realiza recambio de agua para obtener mejores resultados. Estas mediciones se realizan quincenalmente, sin embargo diariamente se realizan mediciones en el ingreso del agua al campo.

En los siguientes cuadros se puede apreciar la tendencia de la variable.

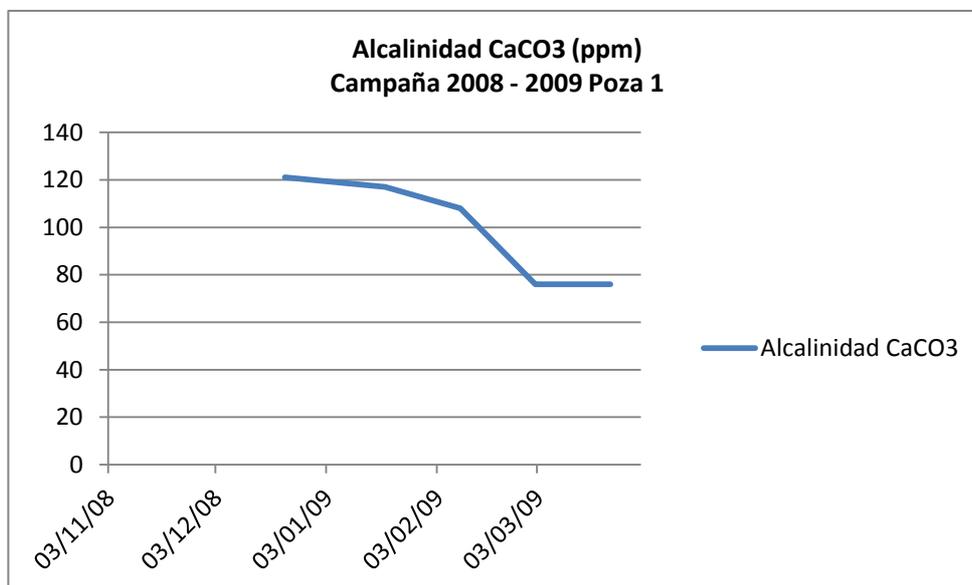


Figura 24. Gráfico de la variable alcalinidad  
Fuente: Elaboración propia

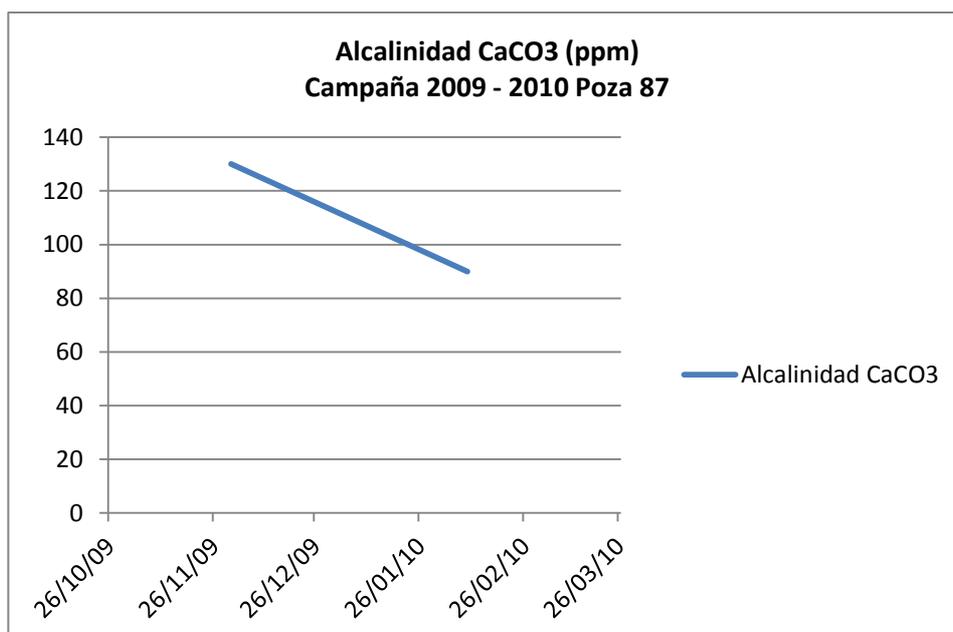


Figura 25. Gráfico de la variable alcalinidad  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.15. Amonio $\text{NH}_3$

El amonio es otra variable del resultado del análisis del agua, y es un indicador de acumulación de materia orgánica proveniente del alimento balanceado y desechos del langostino. Como se sabe, el amonio al pasar por un proceso metabólico se convierte en Nitrito, lo cual es un componente tóxico, por ello el valor óptimo es entre 0.2 y 0.3 mg/L, debido a que si el valor del amonio sube, el riesgo de la presencia de nitritos sería mayor. Para controlar la cantidad de amonio se realiza recambios de agua cuando el valor está por encima del rango óptimo. Esta variable es medida quincenalmente.

En los siguientes cuadros se puede apreciar la variación del amonio.

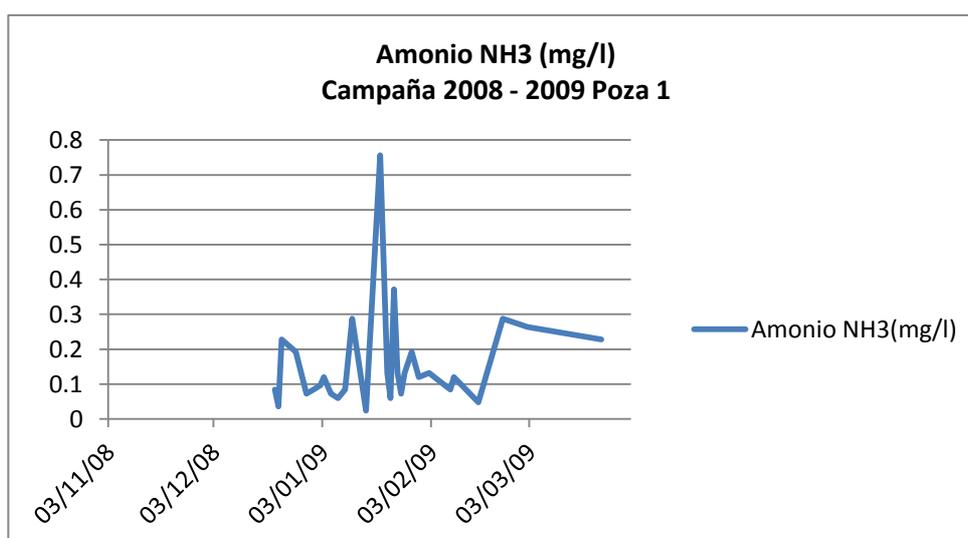


Figura 26. Gráfico de la variable amonio  
Fuente: Elaboración propia

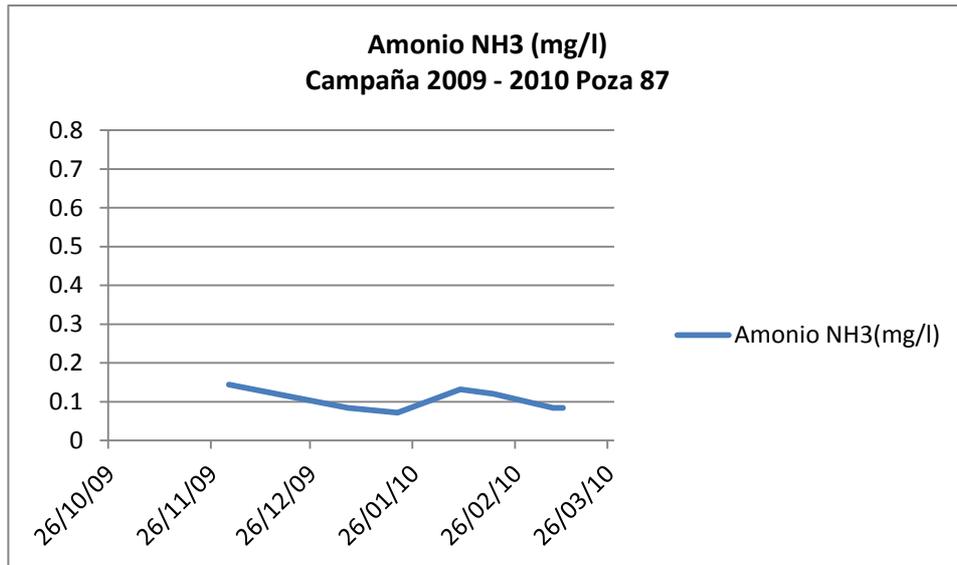


Figura 27. Gráfico de la variable amonio  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.16. Nitritos NO<sub>2</sub>

Los nitritos en el agua son medidos por el laboratorio, y se supervisa que la cantidad esté por debajo de 0.05 ppm, superado dicho valor se procede a realizar recambios de agua. La medición se realiza quincenalmente.

En los siguientes cuadros se puede apreciar cómo varía los nitritos contenidos en el agua.

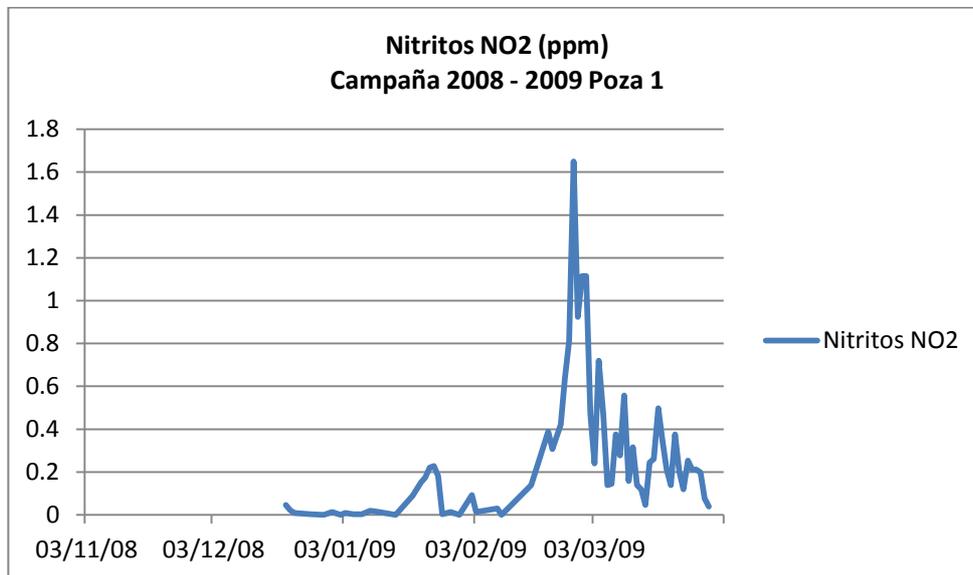


Figura 28. Gráfico de la variable nitritos  
Fuente: Elaboración propia

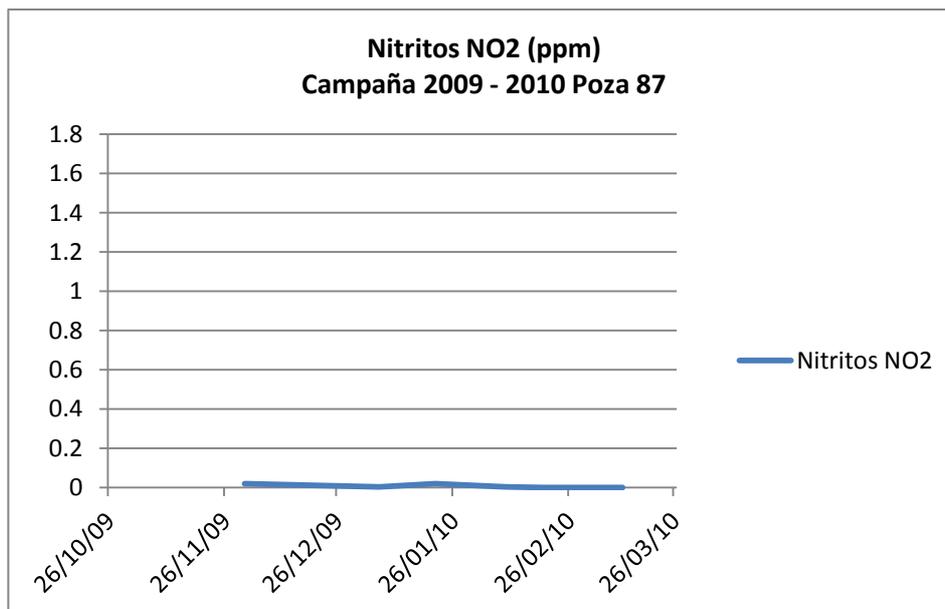


Figura 29. Gráfico de la variable nitritos  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.17. Nitratos $\text{NO}_3$

Se requiere la presencia de este compuesto para que las algas presentes en el agua puedan consumir nitrógeno para completar su ciclo de fotosíntesis; sin embargo, el valor no debe exceder de 6 ppm para evitar el crecimiento descontrolado de las algas. Para controlar dicho valor se realizan recambios del agua de la piscina.

### 2.2.18. Fosfato $\text{PO}_4$

La medición de este compuesto se realiza para tener un historial de la presencia de la cantidad de fósforo, y en caso de que surgiera un problema, poder descartar si fue por la ausencia o exceso de fósforo, ya que generaría un exceso de nutrientes favoreciendo a una sobreproducción de algas.

### 2.2.19. Productividad columna de agua

Esta variable engloba la medición de 4 grupos de algas: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas y Euglenofitas, siendo estos grupos los más representativos en los cultivos. Como límite no puede haber más de quinientos mil células por mililitro en total (500 000 Cel/mL), es decir considerando los 4 grupos de alga. Para controlar dicho valor, se realizan recambios de agua y en caso extremo se suministra al agua sulfato de cobre para eliminar a las cianofitas y clorofitas, ya que a las diatomeas no las eliminará porque en su estructura poseen una pared celular hecha de sílice, por ende el sulfato de cobre no puede romper dicha pared celular. Por otro lado, se cree que las diatomeas dan una mejor condición de oxígeno, es decir ayudan a la presencia de oxígeno en el agua, además de proporcionar mejor calidad tomando en cuenta que las cianofitas son tóxicas en su mayoría, por lo que se prefiere que haya más algas diatomeas y no las otras.

En cuanto a las euglenofitas, se consideran como un indicador biológico de la calidad del agua, ya que esta alga produce una capa verde en el agua y un olor fuerte y desagradable.

Así mismo, el recambio de agua también es utilizado para el control de esta variable. Las mediciones se realizan semanalmente y están a cargo del laboratorio de sanidad de la empresa

En los siguientes cuadros podemos ver el comportamiento de la variable.

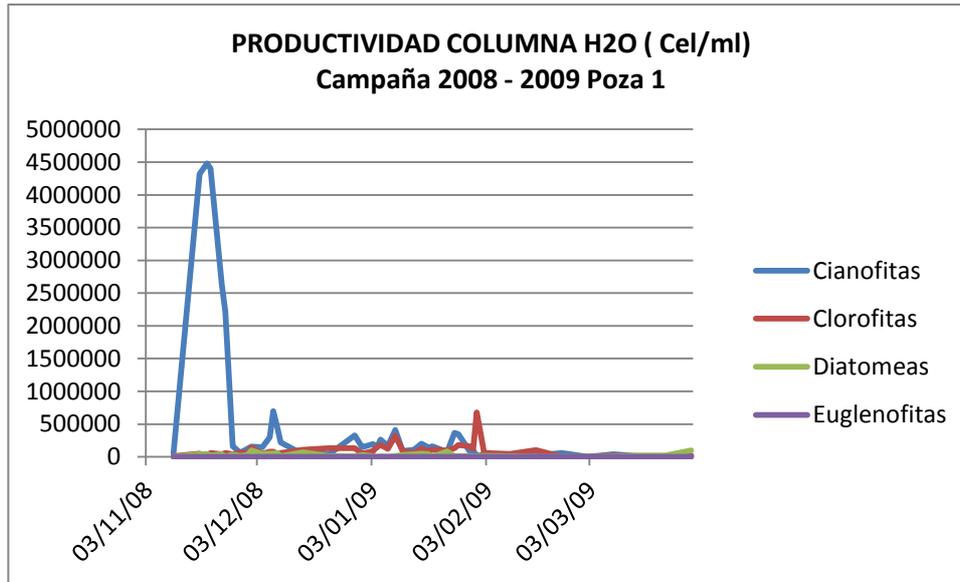


Figura 30. Gráfico de la variable productividad de columna de agua  
Fuente: Elaboración propia

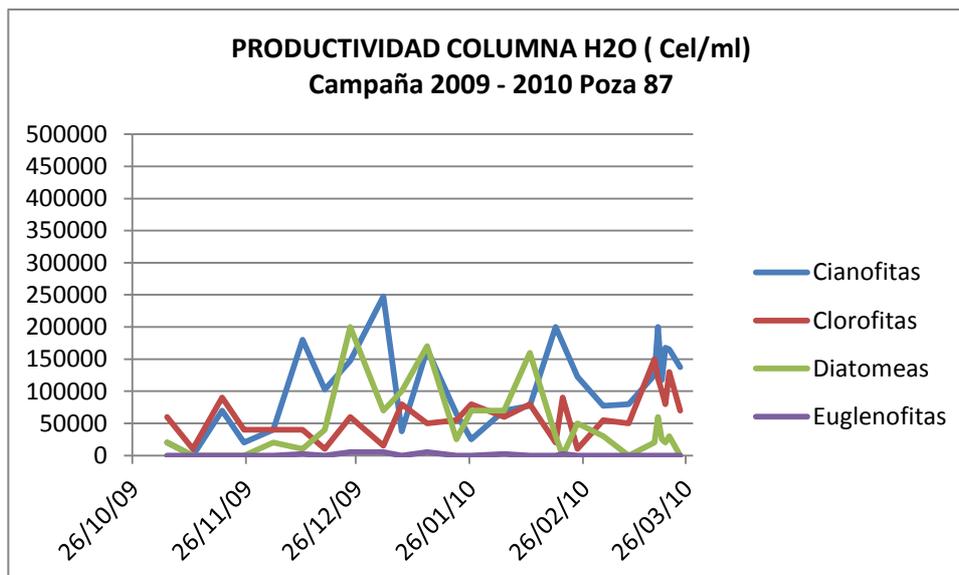


Figura 31. Gráfico de la variable productividad de columna de agua  
Fuente: Elaboración propia

### 2.2.20. Columna de agua

Por último, se analiza el agua para identificar la presencia de las algas más relevantes tomando en cuenta que éstas cuando aparecen nos indican que el agua no tiene muy buena calidad para el cultivo, ya que tienen alto grado de toxicidad. Estas algas son: Anabaenop, Anabaena y APHANIZ. Como parte del protocolo se hacen dichos análisis para verificar la calidad del agua. La manera de controlar estos géneros de algas es con los recambios de agua y/o agregando sulfato de cobre al agua.

En los siguientes cuadros podemos apreciar el comportamiento de la variable.

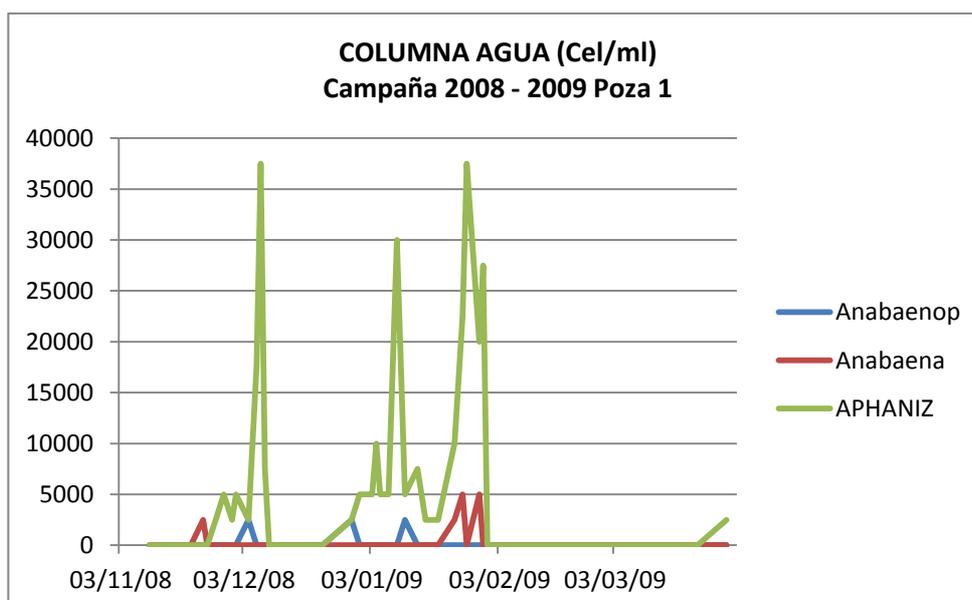


Figura 32. Gráfico de la variable columna de agua  
Fuente: Elaboración propia

### **2.2.21. Análisis de suelo**

Dentro del formato que se maneja, no está incluido un análisis de suelo; sin embargo, se cree conveniente analizar el suelo (porcentaje de materia orgánica y PH) de las piscinas antes de la siembra y después de la cosecha, con el fin de saber qué componentes y características posee el terreno y determinar si es o no favorable durante el crecimiento del langostino.

## Capítulo 3

### Identificación de variables críticas en el proceso de cultivo de langostino y oportunidades de mejora

Para comprender mejor la segunda parte de este estudio, empezaremos hablando de los gráficos de control, los cuales son una herramienta importante utilizada en control de calidad de procesos, básicamente, es un gráfico en el cual se representan los valores de algún tipo de medición realizada durante el funcionamiento de un proceso.

Todo proceso funciona bajo ciertas condiciones o variables establecidas para lograr una producción satisfactoria. Estas variables se clasifican en variables controlables y no controlables. Los cambios en las variables controlables se denominan causas asignables, porque es posible identificarlas y deben eliminarse del proceso, ya que provocan que el proceso no funcione como se desea.

Las fluctuaciones al azar de las variables no controlables se denominan causas no asignables, porque no son posibles identificarlas, son inherentes al proceso y no pueden ser reducidas o eliminadas.

Se dice que un proceso se encuentra “en estado de control estadístico” cuando sólo están presentes las causas no asignables.

La implementación de un control estadístico para un proceso comprende dos etapas:

1. Ajuste del proceso
2. Control del proceso

En la primera etapa, se recogen unas 100-200 mediciones, con las cuales se calcula el promedio y la desviación standard:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - m)^2}{n-1}}$$

Luego se calculan los límites de control:

$$\text{Lim Superior} = \bar{X} + 3.09 * \sigma$$

$$\text{Lim Inferior} = \bar{X} - 3.09 * \sigma$$

Estos límites surgen de la hipótesis de que la distribución de las observaciones es normal. En general se utilizan límites de 2 sigmas o 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.

Con estos datos, ya se puede construir un gráfico de prueba y se traza una línea recta a lo largo del eje de coordenadas (eje Y), a la altura del promedio y otras dos líneas rectas a la altura de los límites de control.

En este gráfico se representan los puntos correspondientes a las observaciones con las que se calcularon los límites de control. Posteriormente, se analiza detenidamente para verificar si está de acuerdo con la hipótesis de que la variabilidad del proceso se debe sólo a un sistema de causas aleatorias o si, por el contrario, existen causas asignables de variación. Esto se puede establecer porque cuando la fluctuación de las mediciones se debe a un sistema constante de causas aleatorias la distribución de las observaciones es normal.

Es difícil decir como es el gráfico de un conjunto de puntos que siguen un patrón aleatorio de distribución normal, pero sí es fácil darse cuenta cuando no lo es. Estos serían los casos:

- Una sucesión de puntos por encima o debajo de la línea central.
- Una serie creciente o decreciente de 6 ó 7 observaciones.
- Varios puntos por fuera de los límites de control.

Si sólo hay 2 ó 3 puntos fuera de control, se eliminan y se vuelve a recalcular la media, desviación standard y límites de control con los puntos restantes, y se construye un nuevo gráfico de prueba.

En la segunda etapa, las nuevas observaciones que van surgiendo del proceso se representan en el gráfico, y se controlan verificando que estén dentro de los límites.

El 99.8% de las observaciones deben estar dentro de los límites de 3.09 sigmas alrededor de la media. Esto significa que sólo 1 observación de 500 puede estar por causas aleatorias fuera de los límites de control. (Universidad Carlos III de Madrid)

El objetivo de la gráfica de control no es lograr un estado de control estadístico como un fin, sino reducir la variación. (Gryna, Chua, DeFeo, & Pantoja Magaña, 2007)

En el siguiente capítulo se hará el ejercicio con los datos de la semana 4 para una mejor apreciación.

### **3.1. Análisis de las variables actuales**

Dentro de todo proceso de producción existe una lista de variables, las cuales nos ayudan a monitorear y/o controlar el proceso. Sin embargo, no todas tienen el mismo nivel de importancia, ya que el rango de variabilidad de algunas variables será menor que otras o la variación en una determinada variable puede ser más

importante que otra. Por ejemplo, para este caso de estudio, un fuerte cambio en la temperatura puede traer mayores consecuencias que un cambio en la visibilidad. Es por eso, que la frecuencia de medición para cada variable no es la misma.

### **3.2. Identificación de variables críticas**

Dentro de todas las variables mencionadas anteriormente, se puede seleccionar algunas como las variables más críticas. Para ello, se hicieron reuniones y entrevistas con la gente del área de producción y teniendo en cuenta la importancia que tiene la variabilidad de cada variable en el proceso y la relación que hay con el costo de producción, se seleccionaron las siguientes variables:

Peso, esta variable nos indica cómo está creciendo el animal, si el crecimiento es el adecuado o no.

Temperatura, como ya se ha dicho anteriormente, el langostino crece más rápido en un ambiente con temperatura de 27°C a 29°C y cambios bruscos en la temperatura afecta enormemente al langostino, por lo que es crucial monitorear la temperatura diariamente para mantenerla lo más constante posible.

Oxígeno, al ser una variable afectada por el mismo langostino, las algas y los desperdicios de los langostinos, se tiene que monitorear diariamente ya que para un mejor proceso debe estar por encima de los 4 ppm. Un bajo nivel de oxígeno nos puede indicar que la cantidad de algas ha superado su límite o hay demasiados desperdicios en la piscina por lo que se debería hacer una limpieza.

Visibilidad o Nivel de Claridad del Agua (SECCHI), nos ayuda a ver la calidad del agua en cuanto a los residuos, ya que si está demasiado oscuro se requiere de un recambio de agua o del sifoneo.

Para este caso de estudio, se ha tomado la variable peso como la variable crítica a estudiar, ya que de cierta manera es la variable que nos indica cómo va el proceso o si algo fuera de lo habitual está ocurriendo. Además, se puede intervenir sobre esta variable, que a diferencia de otras no se puede hacer con tanta facilidad como por ejemplo la temperatura, ya que como se ha dicho antes la temperatura de la piscina dependerá de la temperatura del ambiente.

Se sugiere para trabajos futuros monitorear la variable oxígeno, la cual puede ser controlada por medio del uso de aireadores, buscando una mejora en la eficiencia energética del uso de estos mecanismos.

### **3.3. Análisis del proceso actual**

Como se ha explicado anteriormente, el peso se obtiene sacando una muestra de langostinos de tres puntos distintos de la piscina, los cuales son pesados posteriormente y se obtiene un peso promedio. Este proceso de medición es llevado a cabo por la persona encargada de la piscina, y a cada persona se le asigna una cierta cantidad de piscinas. El peso promedio es apuntado en una libreta para luego ser entregado a la persona encargada de digitar toda la data a la hoja de cálculo de Excel. Esa hoja de cálculo es una plantilla estandarizada donde se registra todos los

datos de las variables. La variable peso es la única variable que se grafica y se compara con la gráfica del peso ideal.

### **3.4. Identificación de oportunidades de mejora**

Algunas oportunidades de mejora en el proceso de monitoreo y control son:

- Cumplir con la frecuencia con que se deben tomar los datos de las distintas variables. Se ha encontrado en la data varios días en los que no se han tomado datos.
- Llevar un control estadístico de la variable peso que permita tomar decisiones rápidas en caso de detectar variaciones anómalas.
- Realizar un análisis de suelo y así prever posibles enfermedades o para estabilizar los minerales y nutrientes del suelo.

## Capítulo 4

### Propuesta del sistema de monitoreo y control

Para poder llevar a cabo unas de las propuestas de mejora anteriormente mencionadas, que es desarrollar un control estadístico de la variable peso, fue necesario definir qué distribución de probabilidad sigue esta variable.

Para este caso de estudio, se trabajó con data de las piscinas registradas desde el 2008 hasta el 2014, esta cantidad de data permite describir con bastante seguridad la distribución que siguen los pesos semanales. Para que se pueda entender lo que se ha hecho en este estudio, tomaremos la data de la semana 4 y se explicará paso a paso.

Uno de los primeros problemas que surgieron, fue que el peso del langostino varía semana a semana, por lo que se decidió averiguar qué distribución sigue este peso semanal. Para esto, se trabajó con data desde el 2008 hasta el 2014, de todas las piscinas registradas. Esta cantidad de data permite describir con bastante seguridad la distribución que siguen los pesos semanales.

Al intentar ajustar los pesos a una distribución de probabilidad no fue posible encontrar una función que describiese de manera adecuada su comportamiento y sin esto la tarea de fijar los límites se complicaba. Posteriormente, se decidió ver si la variación semanal se podía ajustar a una distribución de probabilidad, para esto se dividió el peso de la semana actual entre el peso de la semana anterior, y de esta manera obtener unos datos estandarizados. En este caso, se dividió los datos de la semana 4 entre los datos de la semana 3 y al resultado le llamaremos semana 4e (estandarizado).

Para conocer si estos datos siguen un patrón conocido, es decir si se ajustan a una distribución, se analizaron los datos en el Minitab<sup>12</sup> y en la mayoría de los casos se ajustan a la distribución normal utilizando la transformación de Johnson. Esta transformación es usada cuando la transformación de Box-Cox no encuentra una transformación adecuada, ya que la de Johnson emplea un algoritmo diferente, seleccionando entre tres familias de funciones del sistema Johnson.

Al saber que los datos se ajustan a la transformación de Johnson, el siguiente paso fue definir unos límites que contengan al equivalente a 6 sigma en una distribución normal, es decir que el 99,87% de los datos se encuentre dentro de los límites. Para el

---

<sup>12</sup> Minitab: Software estadístico.

límite inferior se buscó el valor correspondiente al percentil 0.13 y para el superior el valor del percentil 99.87, los cuales son similares a los de una carta de control tradicional.

Los resultados se muestran a continuación:

#### Estandarización semana 4

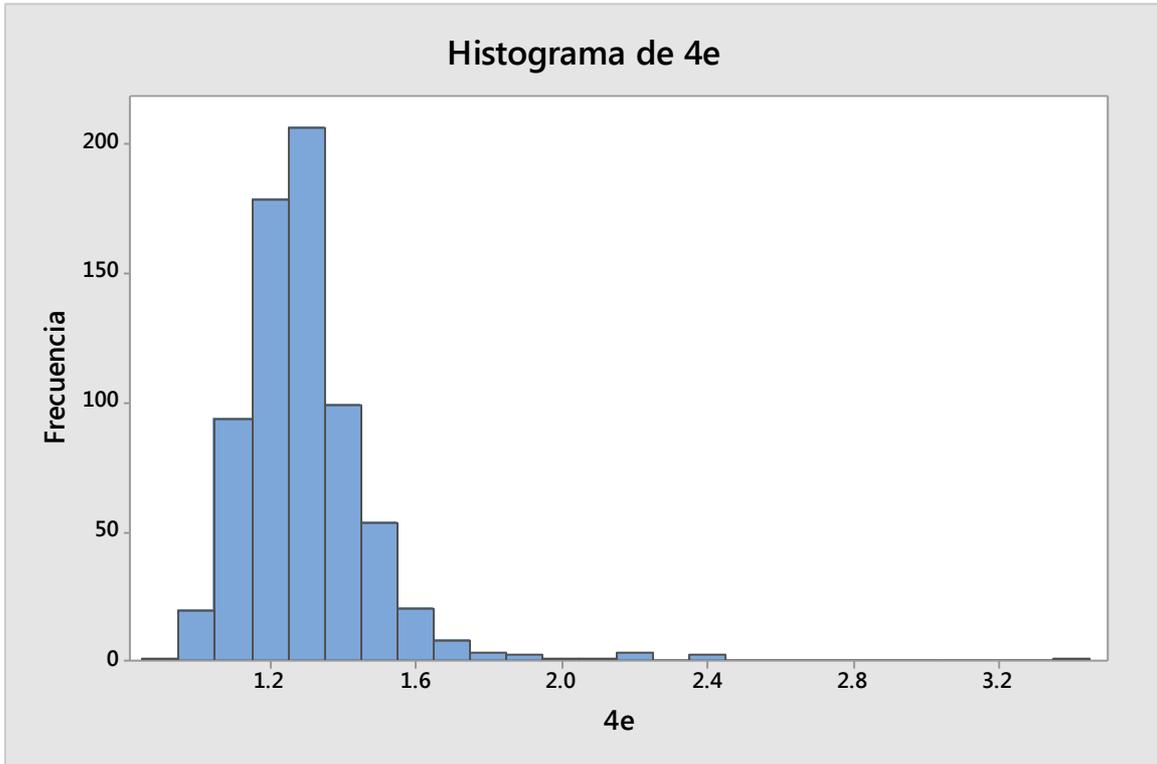


Figura 33. Histograma de la semana 4 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

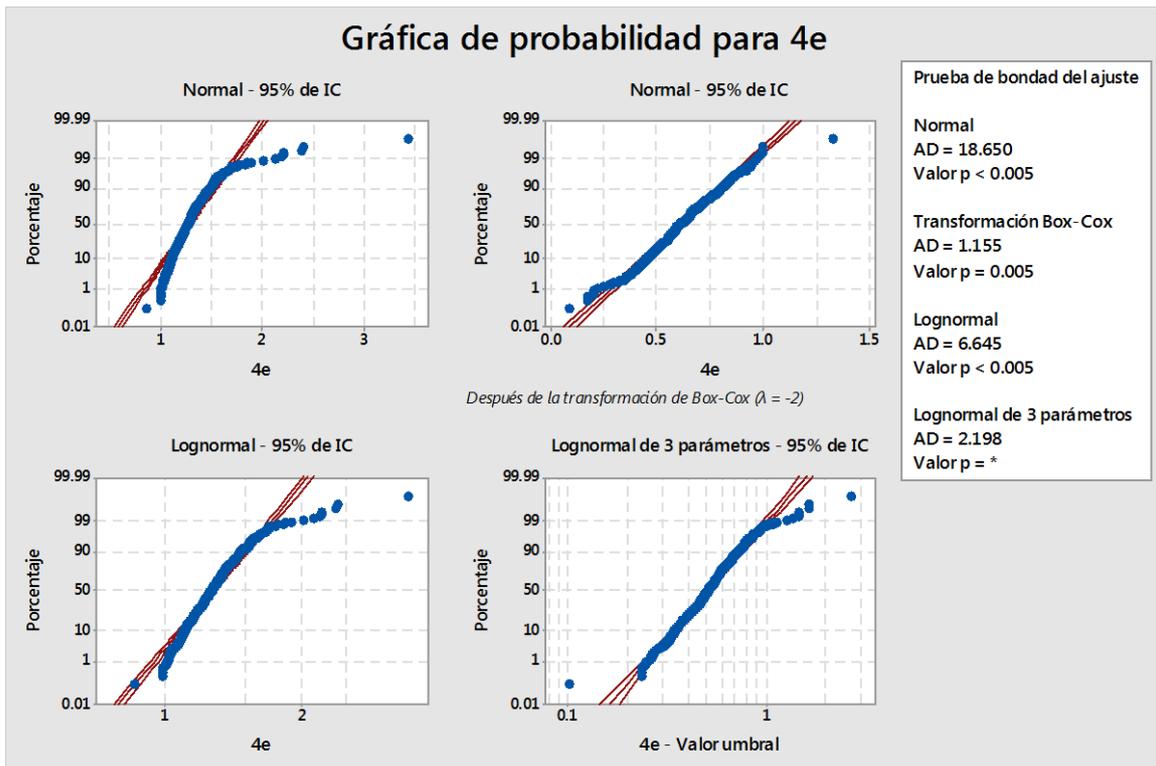


Figura 34. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

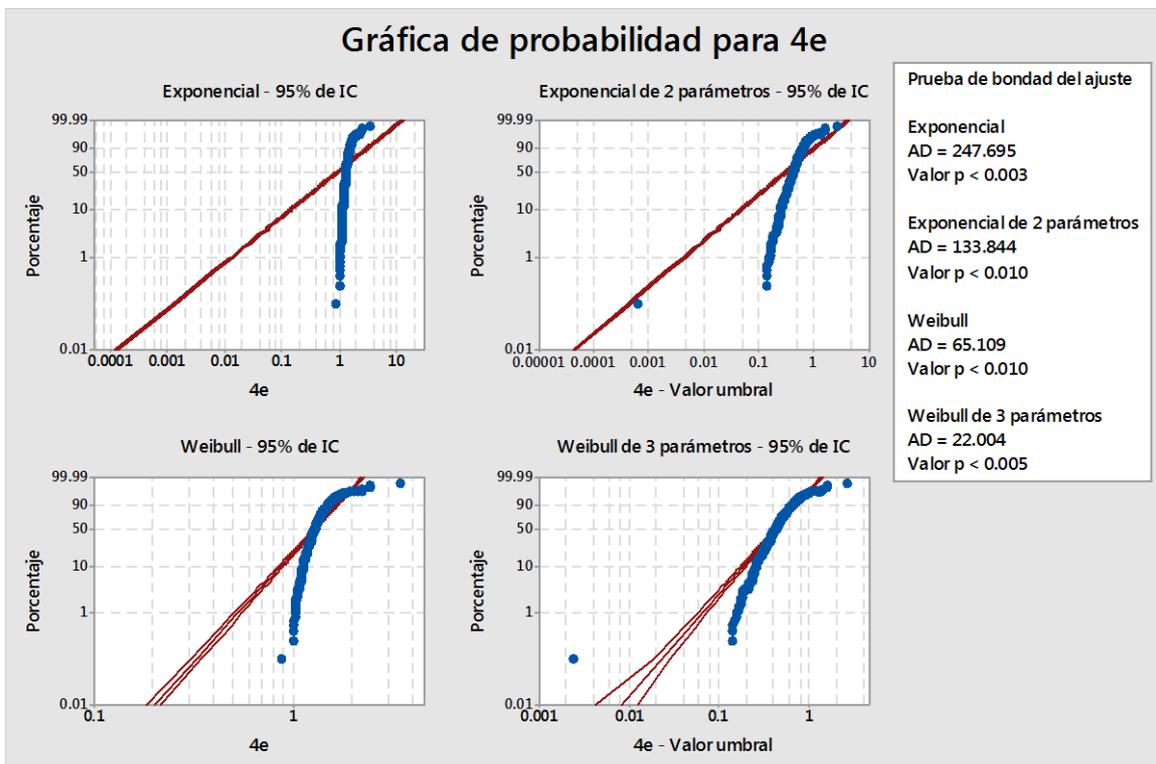


Figura 35. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

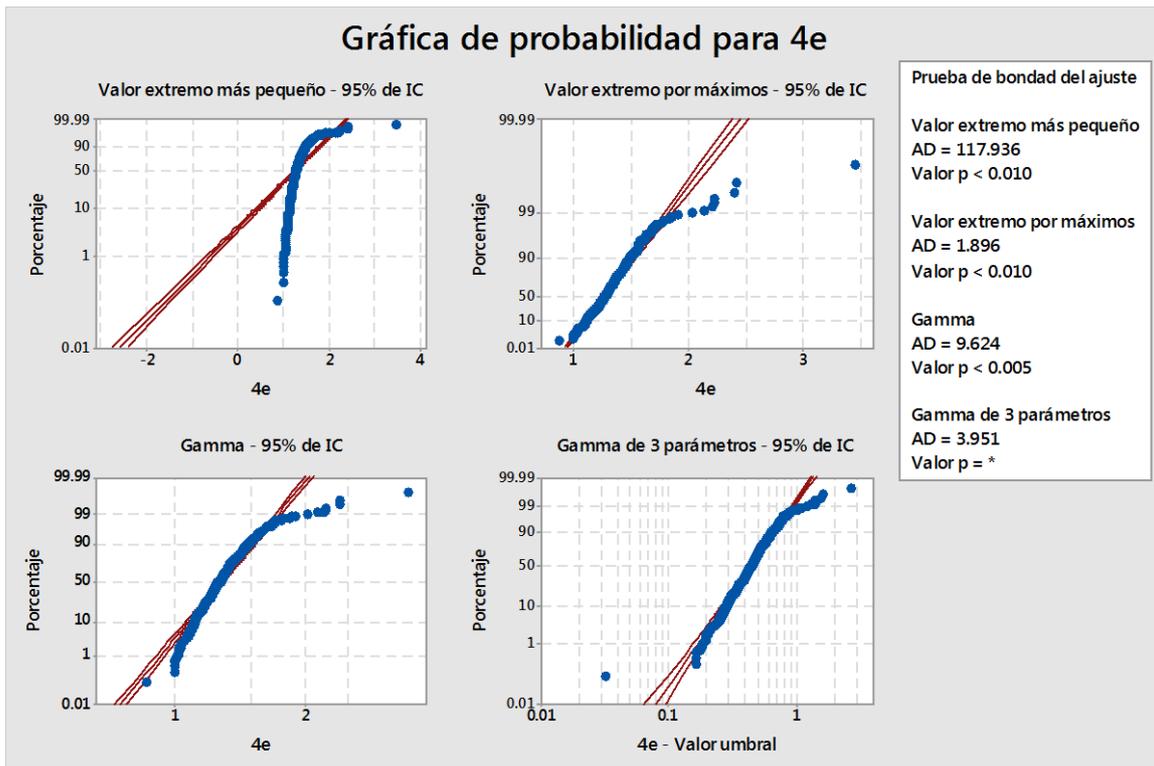


Figura 36. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

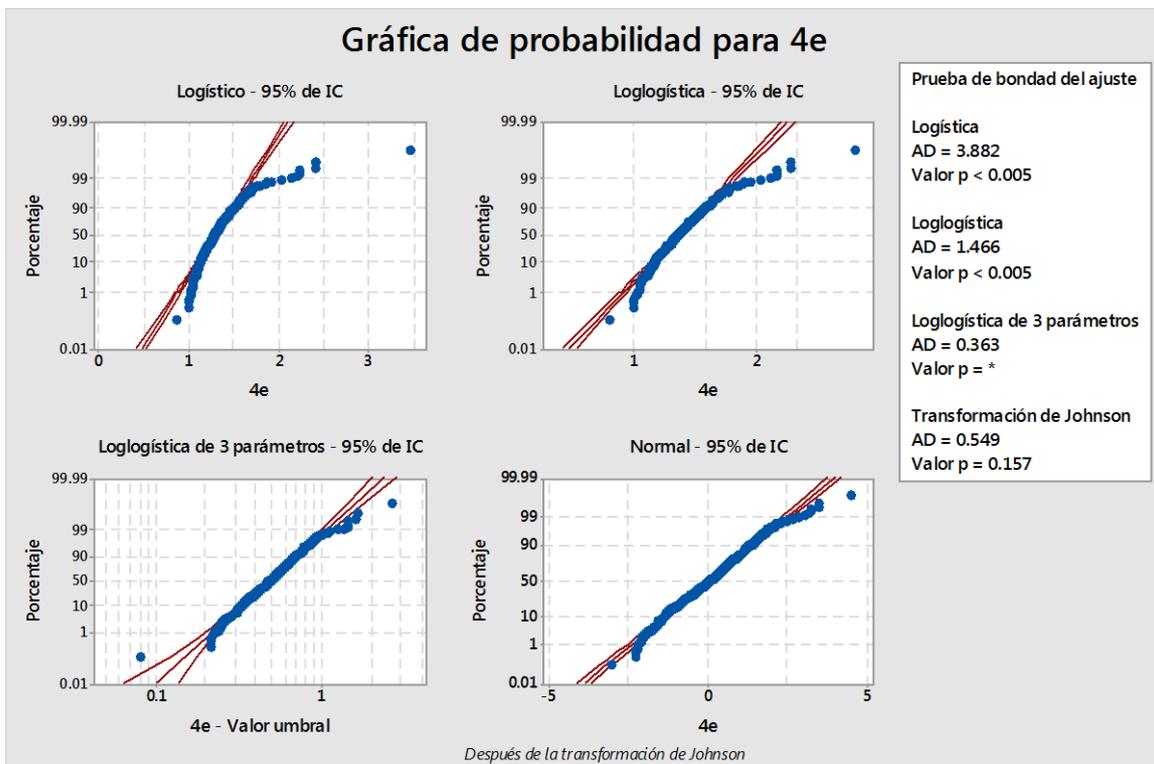


Figura 37. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

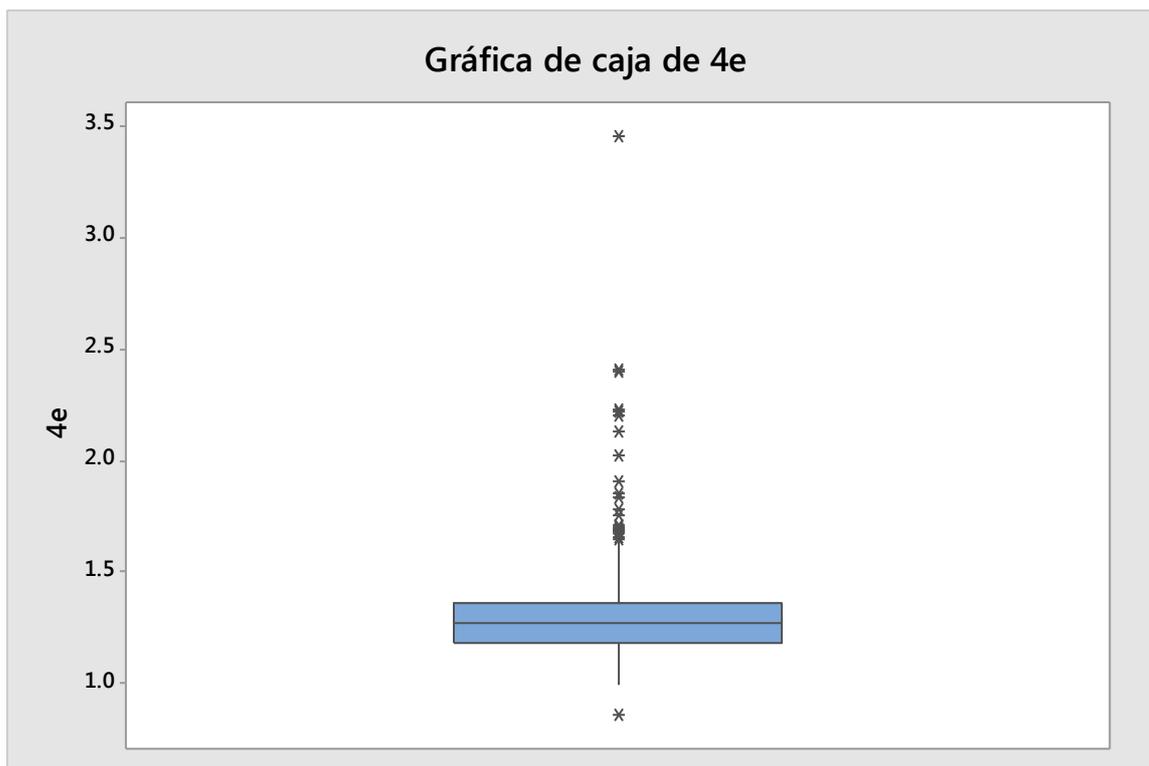


Figura 38. Gráfico de caja de la semana 4

Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
690	3	1.30077	0.190975	1.27840	0.867464	3.44810	3.50426	28.0302

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.86746                      Límite de control inferior

0.9986500                      3.44810                      Límite de control superior

Línea central 1.30077

Como se puede observar, estos datos se ajustan a la transformación de Johnson y podemos afirmar que los datos sí siguen una distribución.

En la Tabla 1, podemos ver los límites de control inferior, superior y central obtenidos después de analizar los datos de cada semana en el Minitab. Las demás gráficas las podemos encontrar en la sección Anexo A.

Tabla 1. Límites de control de cada semana obtenidos en el Minitab

Semana	2e	3e	4e	5e	6e	7e	8e	9e
LCI	0.92511	-	0.86746	0.89541	1.01073	0.99942	0.97542	0.93607
LCS	2.14258	-	3.4481	2.06015	1.7145	1.79641	1.55098	1.4006
LC	1.3202	-	1.30077	1.24362	1.21309	1.18204	1.16151	1.13936

Semana	10e	11e	12e	13e	14e	15e	16e	17e
LCI	1	0.99937	0.99971	1	1	0.94241	0.99825	0.99642
LCS	1.3461	1.27866	1.24288	1.24523	1.23369	1.2306	1.18814	1.15325
LC	1.12009	1.10726	1.09367	1.09215	1.07933	1.07257	1.06561	1.06082

Semana	18e	19e	20e
LCI	1	1	0.97491
LCS	1.13474	1.17164	1.14428
LC	1.05368	1.05182	1.04289

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la semana 3 no se ajusta a ninguna probabilidad, se podría usar las técnicas de Kernel o distribuciones empíricas para lograr ajustarla a una distribución. Las semanas posteriores a la semana 20, no se han considerado por falta de datos, ya que no todas las piscinas se cosecharon en esas semanas.

#### 4.1. Diseño de cartas de control estadístico para variables críticas

El siguiente paso, fue elaborar las cartas de control. Para ello, debemos recalcar que se buscó que el 99.865% de los datos, equivalente a 6 sigma en una distribución normal, se encuentren dentro de los límites

Siguiendo con el caso de la semana 4, podemos ver a continuación la carta de control obtenida. Las demás cartas las podemos encontrar en la sección Anexo B.

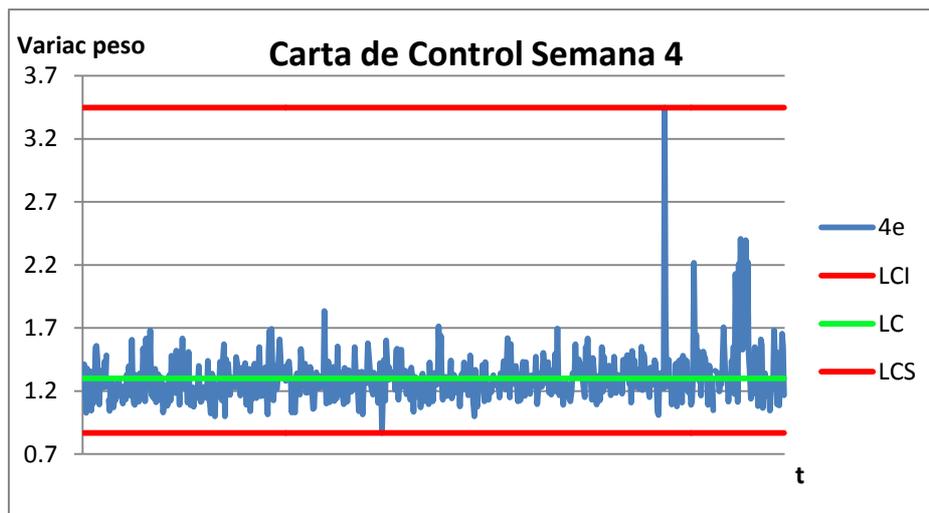


Figura 39. Carta de control de la semana 4

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Validación de las cartas propuestas

Siguiendo con el análisis de la semana 4, se puede ver que la carta de control obtenida anteriormente tiene ciertos puntos que claramente no pertenecen a la distribución y que han sido resultado de una situación anómala.

Debemos aclarar que para la optimización de las cartas de control no se ha podido usar las reglas Western Electric (Western Electric Rules, 1956), porque en este caso de estudio, se ha analizado la data obtenida de años pasados. Por tal motivo, se analizó la gráfica y se procedió a eliminar aquellos puntos que claramente no pertenecían a la distribución, lo que permitió obtener unos límites de control más ajustados para controlar mejor el proceso.

De esta manera, obtuvimos una carta de control con unos límites más ajustados.

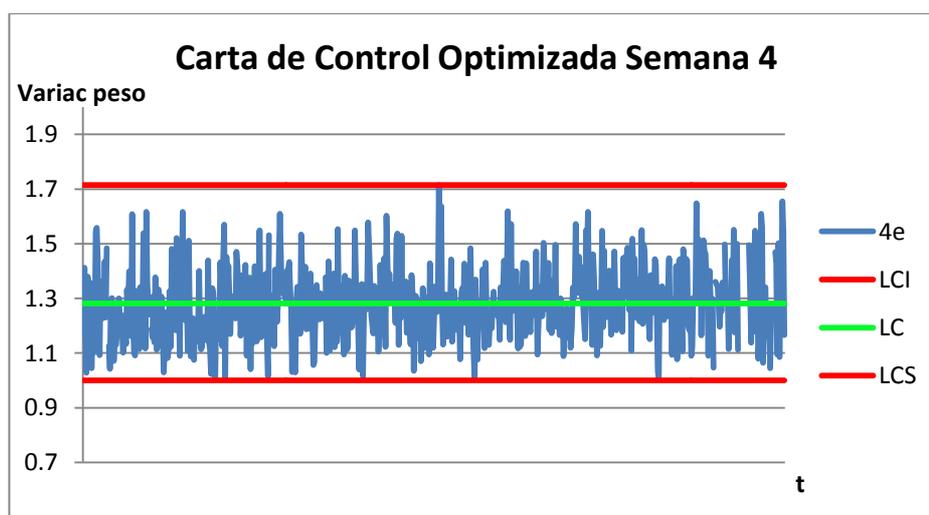


Figura 40. Carta de control optimizada de la semana 4

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2, podemos ver los nuevos límites de control de cada semana.

Tabla 2. Nuevos límites de control de cada semana después de la optimización

Semana	2e	3e	4e	5e	6e	7e	8e	9e
<b>LCI</b>	-	-	1	0.90068	1.01073	0.99942	0.97542	0.99657
<b>LCS</b>	-	-	1.71443	1.59367	1.52283	1.49254	1.37138	1.32715
<b>LC</b>	-	-	1.28111	1.23544	1.20712	1.17737	1.16094	1.13829

Semana	10e	11e	12e	13e	14e	15e	16e	17e
<b>LCI</b>	1	0.99937	0.99971	1.00030	1.01338	1	0.99825	1
<b>LCS</b>	1.27740	1.25196	1.21117	1.19288	1.18869	1.17452	1.15219	1.13052
<b>LC</b>	1.11910	1.10650	1.09157	1.09213	1.08137	1.07252	1.06757	1.06144

Semana	18e	19e	20e
<b>LCI</b>	1.01028	1.00800	0.99730
<b>LCS</b>	1.12249	1.12983	1.14385
<b>LC</b>	1.05684	1.05375	1.04326

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver al comparar ambas cartas de control, en la primera carta los límites eran  $LCS=3.4481$  y  $LCI=0.86746$ , al eliminar los puntos anómalos se obtuvieron nuevos límites de control,  $LCS=1.7144$  y  $LCI=1.00$ , obteniendo una carta de control más ajustada y se ve claramente cuáles son los puntos que siguen la distribución.

De esta manera, se ha optimizado cada carta para que pueda detectar variaciones del proceso usual. En este caso, si no se hubiese realizado esta optimización, los límites iniciales eran muy relajados y no iban a ser capaces de detectar desviaciones anómalas.

Las demás cartas de control optimizadas las podemos encontrar en la sección Anexo C.

## Conclusiones y recomendaciones

- Con estos resultados, se concluye que el proceso de producción de langostino puede ser monitoreado y/o controlado por medio de cartas de control y gráficos, para una mejor visibilidad del comportamiento de las variables. De esta manera, se pueden detectar anomalías con mayor rapidez, pudiéndose tomar las medidas correctivas oportunamente y asegurar la buena marcha del proceso.
- Inicialmente, el incremento del peso en una semana dada no se logró ajustar a una curva normal, con las transformaciones adecuadas se pudo ajustar esta variable, permitiéndonos plantear para cada semana los límites de control.
- No se pudo ajustar la semana 3 a ninguna distribución, incluso usando transformaciones. En este caso y como futuros temas de tesis se podría investigar la posibilidad de usar las técnicas de Kernel o distribuciones empíricas para lograr ajustarla a una distribución.
- Las gráficas de control se han realizado con la data de campañas ya concluidas, es decir data histórica. La cantidad de data disponible en este caso proporciona la confianza necesaria para poder utilizar la distribución de probabilidad elegida.
- Se recomienda tener un proceso sistemático de recolección de la información de las diversas variables que influyen en el cultivo del langostino, así como el registro de situaciones extraordinarias. Esto permitirá un mejor análisis de proceso y mejor uso de la información para la toma de decisiones.
- Se recomienda continuar con el estudio de las restantes variables que intervienen en el proceso así como la elaboración de un software, que tenga como outputs gráficos que ayuden a analizar mejor la información para la toma de decisiones.
- Se sugiere incluir dentro de las variables a monitorear, análisis del suelo, ya que éste nos dirá si está apto para la siguiente producción y evitar de esta manera la presencia de algún virus que afecte el proceso.

- La implementación de gráficos de control para monitorear este proceso es factible y será de gran ayuda para las áreas de producción y calidad de empresas productoras de langostinos.
- Si bien es claro que las cartas propuestas en esta tesis tienen validez sólo para la situación estudiada, el procedimiento seguido puede ser implementado en otras empresas productoras de langostinos para la elaboración de sus propias cartas de control.

## Referencias

- Alagappan, M., & Kumaran, M. (2013). *Application of Expert Systems in Fisheries Sector*. India.
- Boyd, C. E., Lim, C., Queiroz, J., Salie, K., De Wet, L., & McNevin, A. (2008). *Best Management Practices for Responsible Aquaculture*. USA: USAID.
- Gryna, F., Chua, R., DeFeo, J., & Pantoja Magaña, J. (2007). *Método Juran Análisis y planeación de la calidad*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Jensen, W. A., Jones-Farmer, L. A., Champ, C. W., & Woodall, W. H. (2006). *Effects of Parameter Estimation on Control Chart Properties: A Literature Review*. USA: ASQ.
- Kume, H. (1992). *Herramientas estadísticas del control de la calidad*. España: Norma.
- Lee, P. G. (2000). *Process control and artificial intelligence software for aquaculture*. Texas.
- Montgomery, D. C. (2002). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa.
- Quevedo, V., Vegas, S., & Vining, G. (2016). *A tutorial on an iterative approach for generating Shewhart control limits*. Quality Engineering.
- Ramírez, D. H. (2011). *Panorama de la Acuicultura Mundial, América Latina y el Caribe y en el Perú*. Lima: Ministerio de la Producción.
- Universidad Carlos III de Madrid. (s.f.). *uc3m*. Obtenido de <http://halweb.uc3m.es/esp/personal/personas/kaiser/esp/calidad/controe7.pdf>



## Anexo A

### Resultados del Minitab

#### Estandarización semana 2

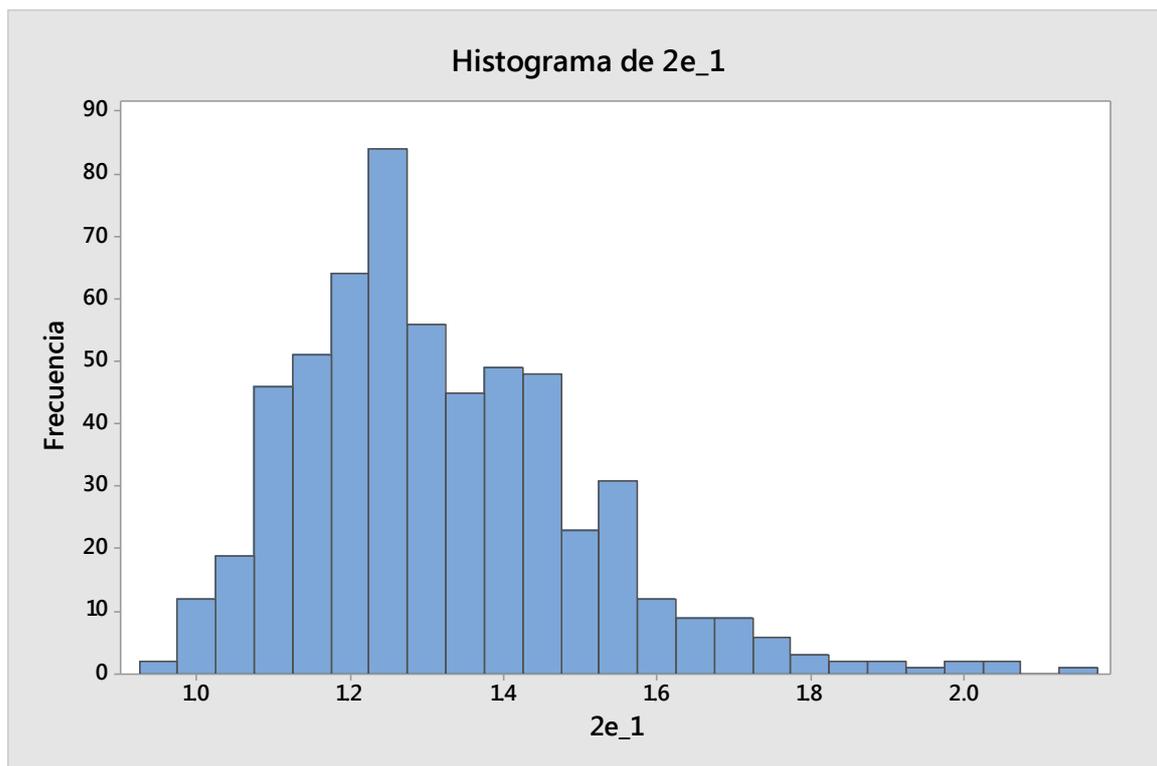


Figura 41. Histograma de la semana 2 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

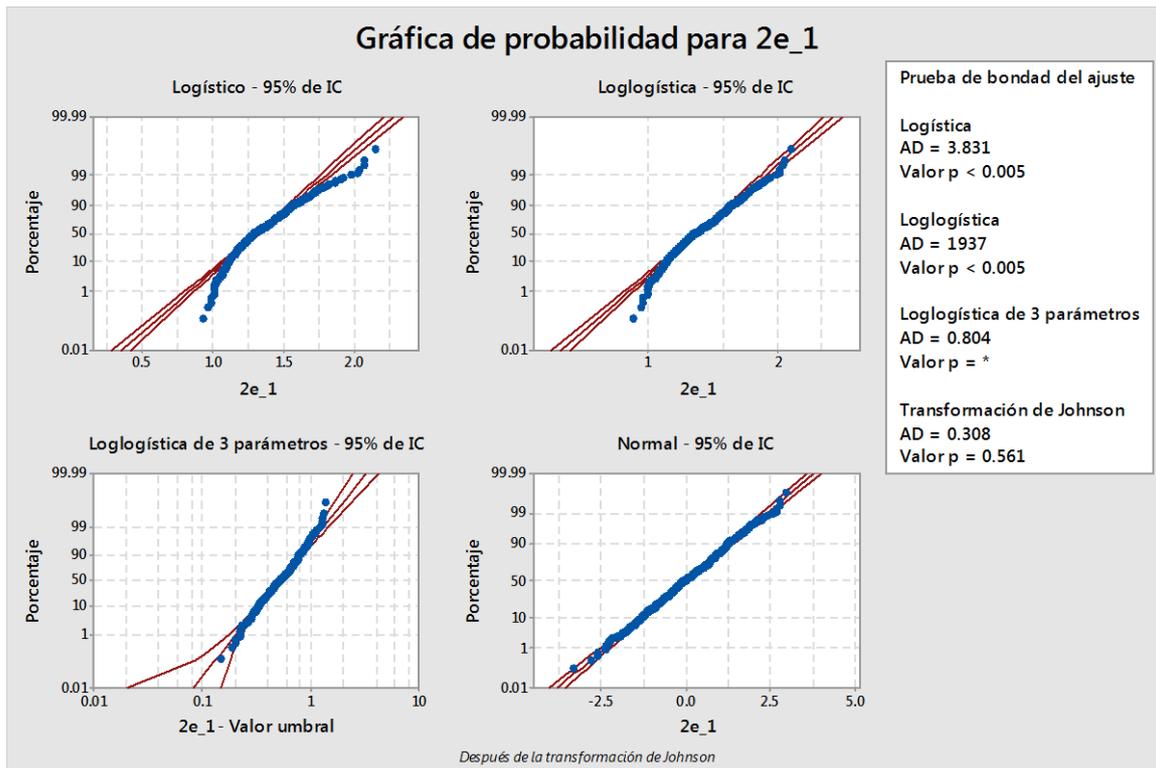


Figura 42. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 2  
Fuente: Elaboración propia

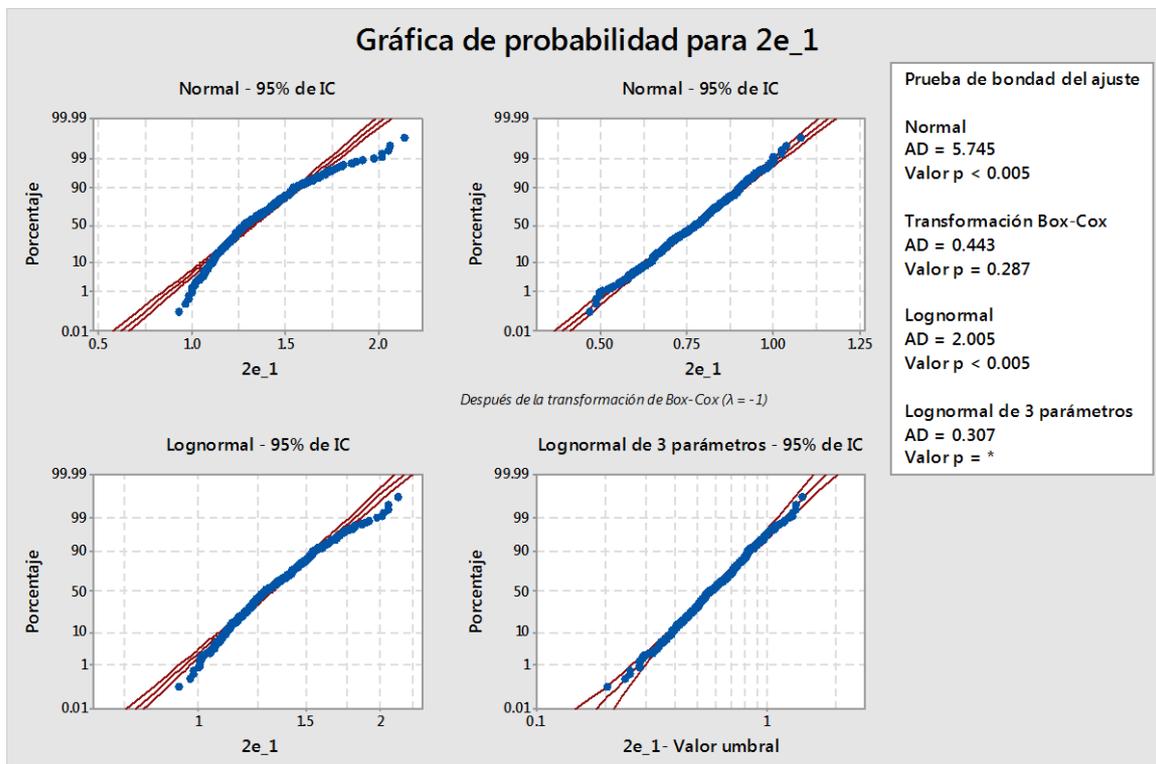


Figura 43. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 2  
Fuente: Elaboración propia

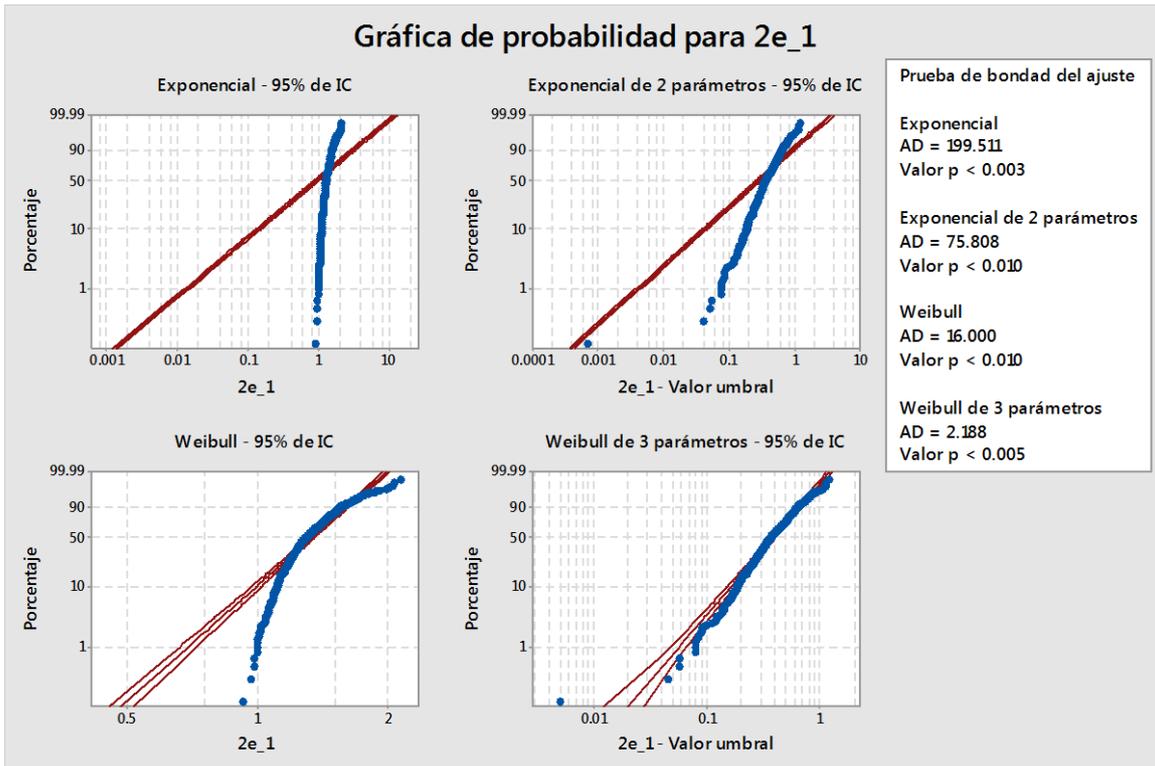


Figura 44. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 2  
Fuente: Elaboración propia

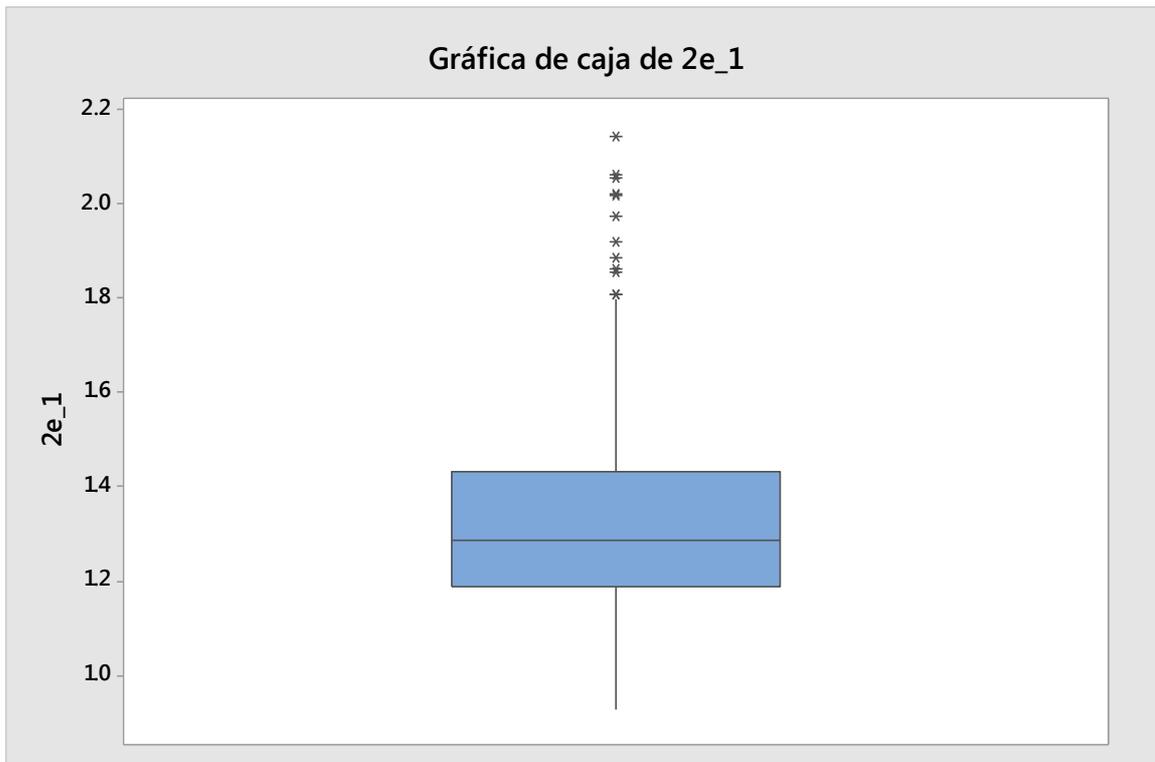


Figura 45. Gráfico de caja de la semana 2  
Fuente: Elaboración propia

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad	Límite de control	
0.0013499	0.92511	Límite de control inferior
0.9986500	2.14258	Límite de control superior
Línea central 1.3202		

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana
Q3								
Máximo								
2e_1	579	0	1.3202	0.00789	0.1899	0.9251	1.1874	1.2844
1.4324	2.1426							

### Estandarización semana 3

Como se puede observar esta semana no se ajusta a ninguna distribución.

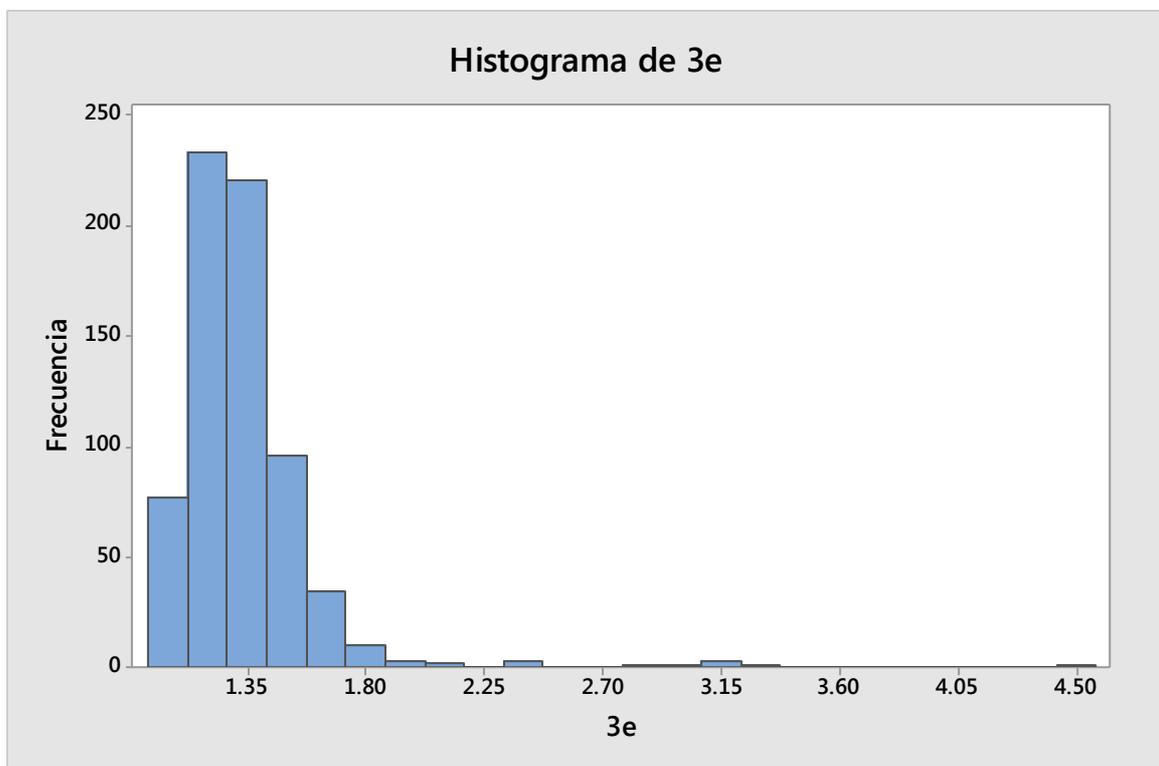


Figura 46. Histograma de la semana 3 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

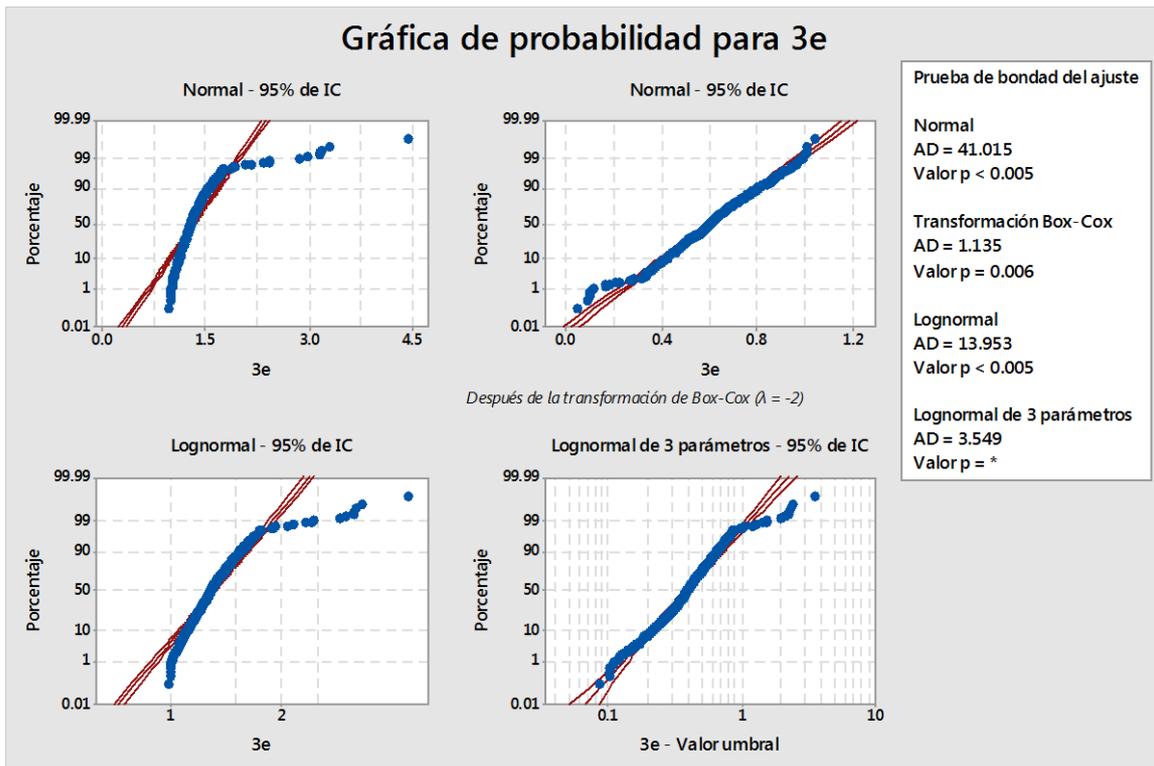


Figura 47. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 2  
Fuente: Elaboración propia

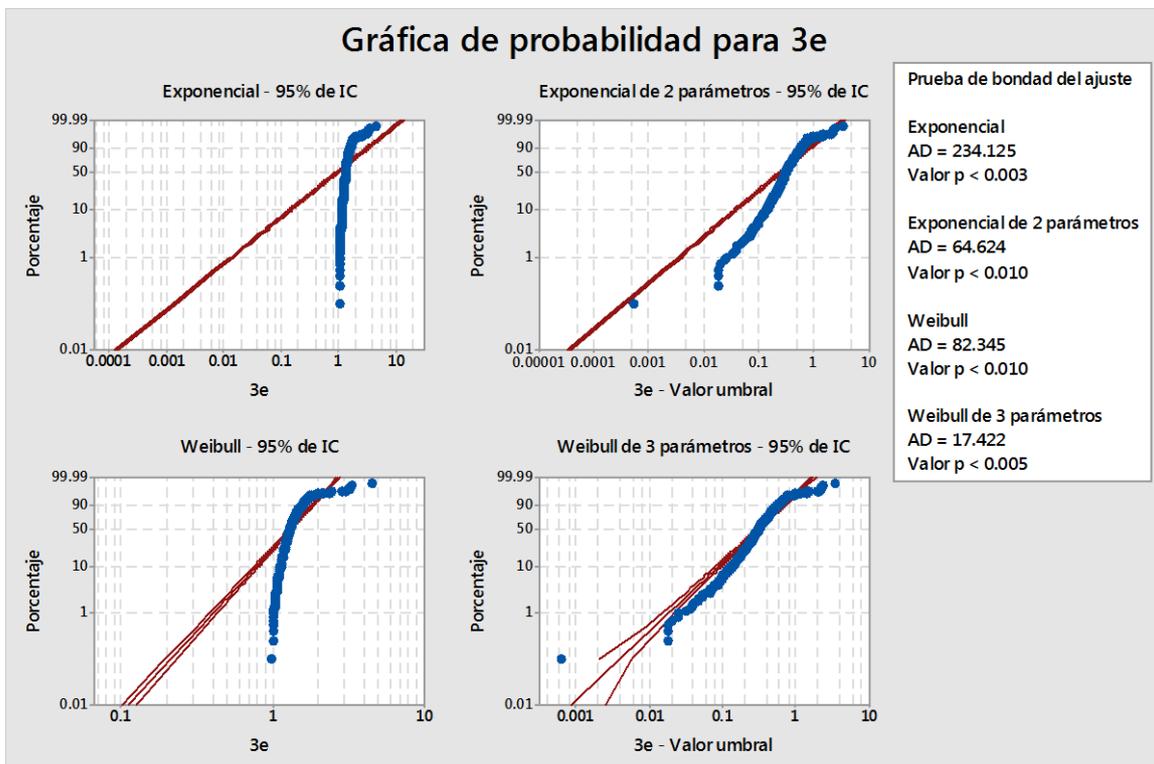


Figura 48. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 3  
Fuente: Elaboración propia

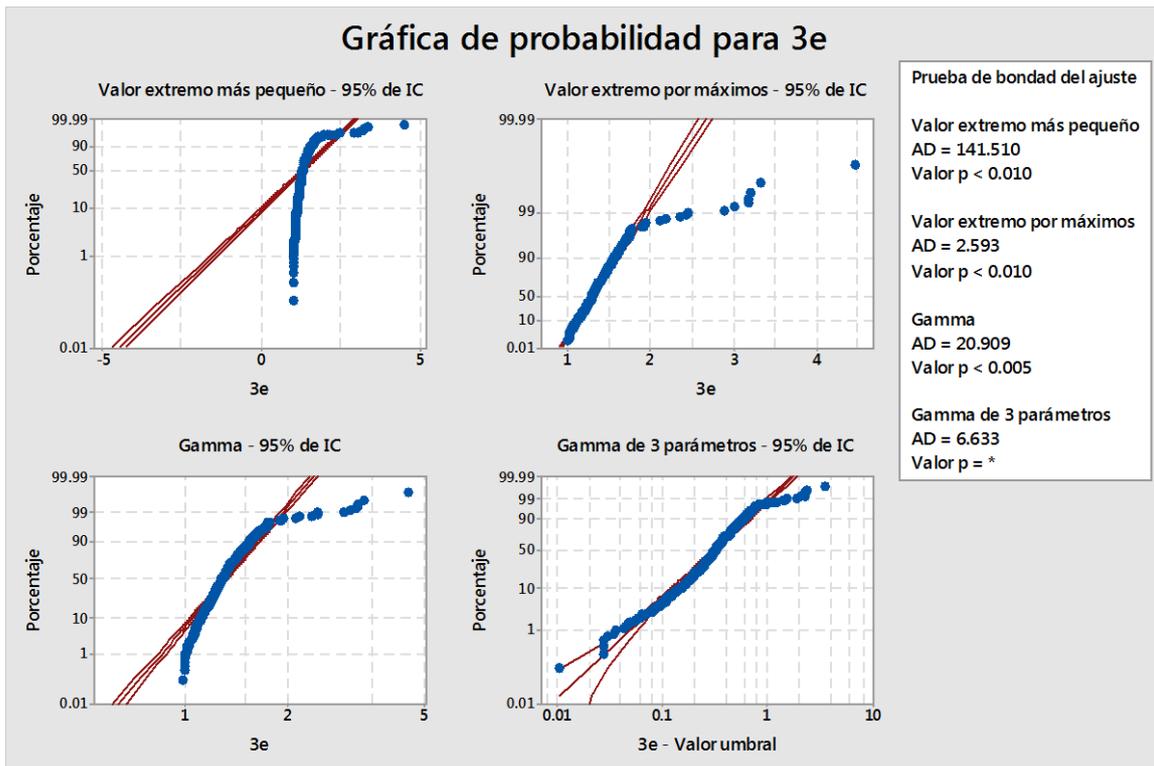


Figura 49. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 3  
Fuente: Elaboración propia

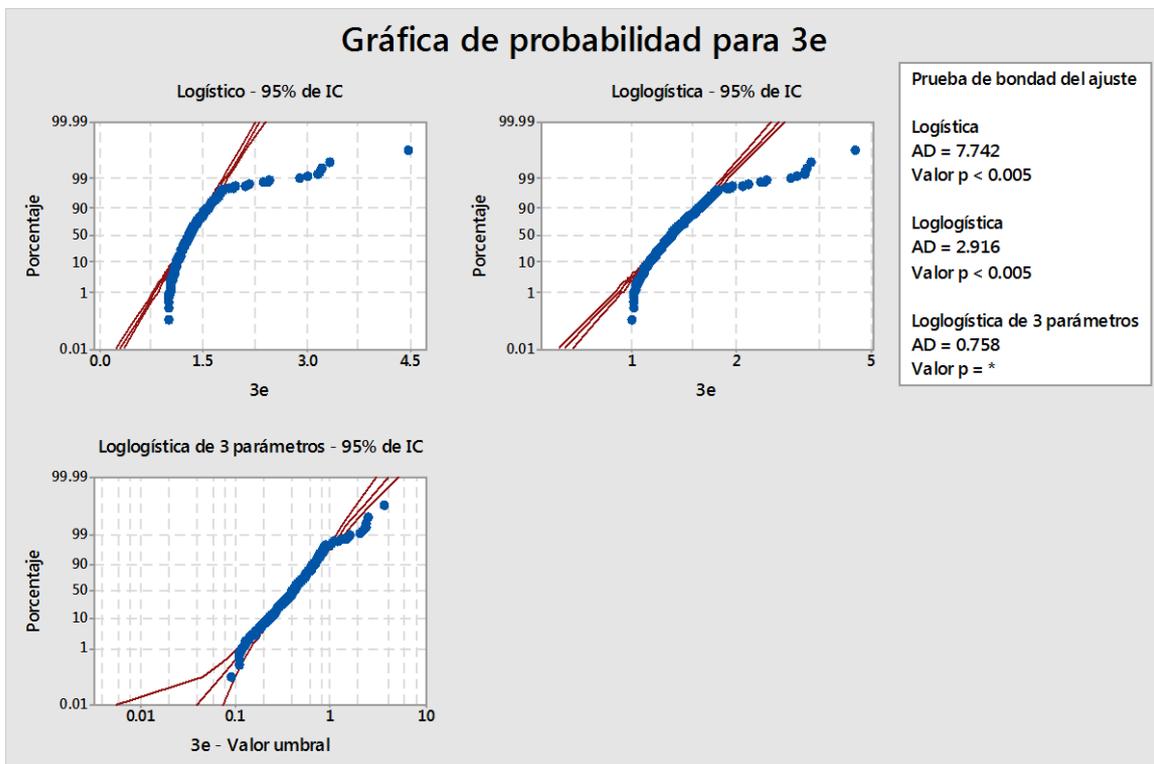


Figura 50. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 3  
Fuente: Elaboración propia

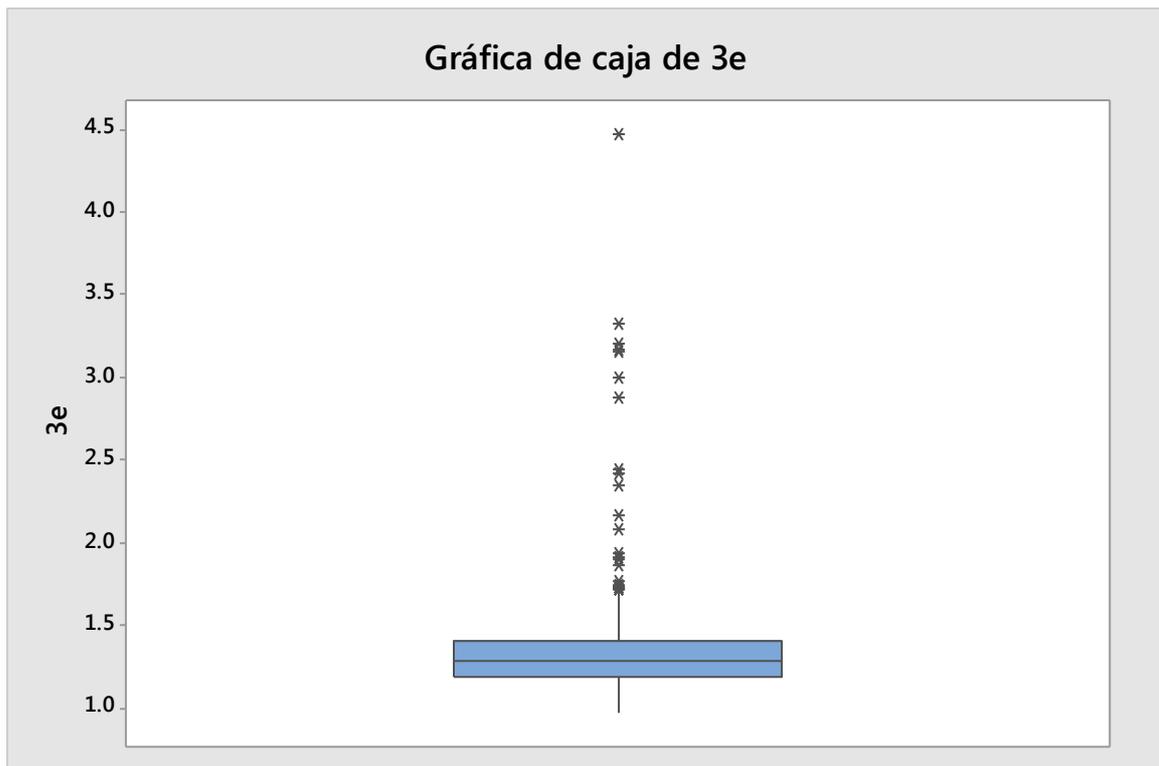


Figura 51. Gráfico de caja de la semana 3  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
685	8	1.33554	0.276123	1.28984	0.983139	4.46465	4.93354	39.0260

### Estandarización semana 4

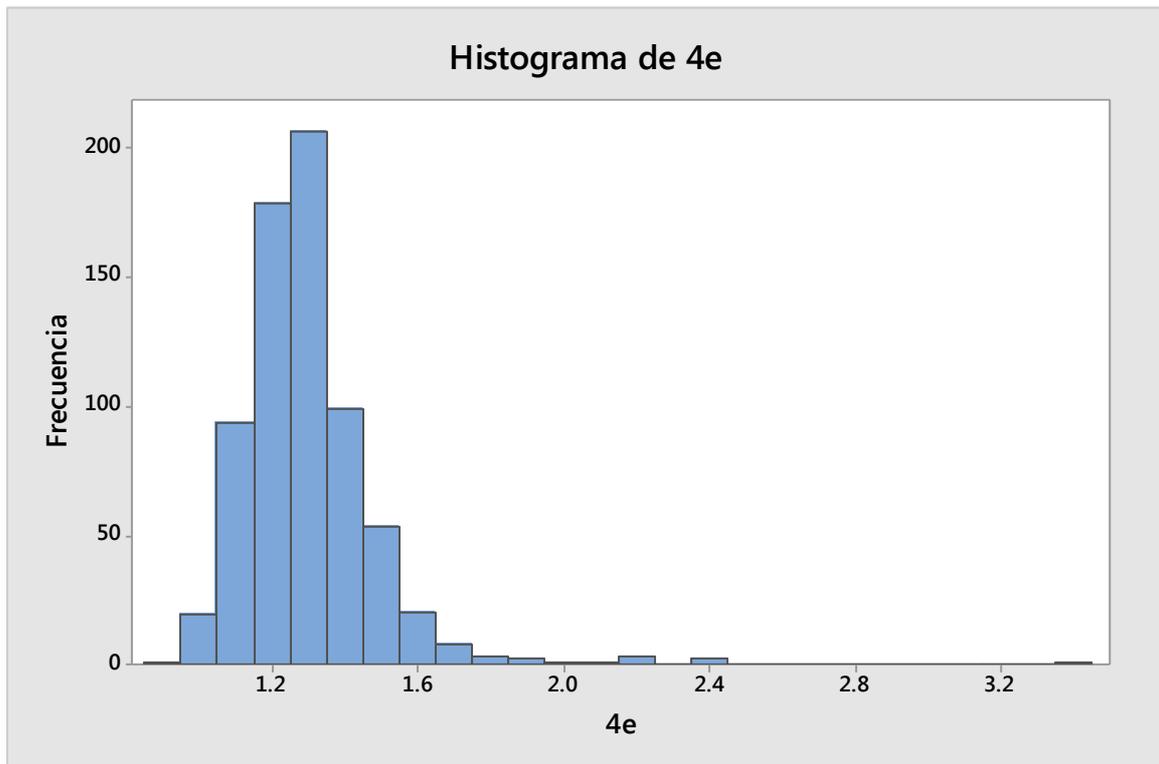


Figura 52. Histograma de la semana 4 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

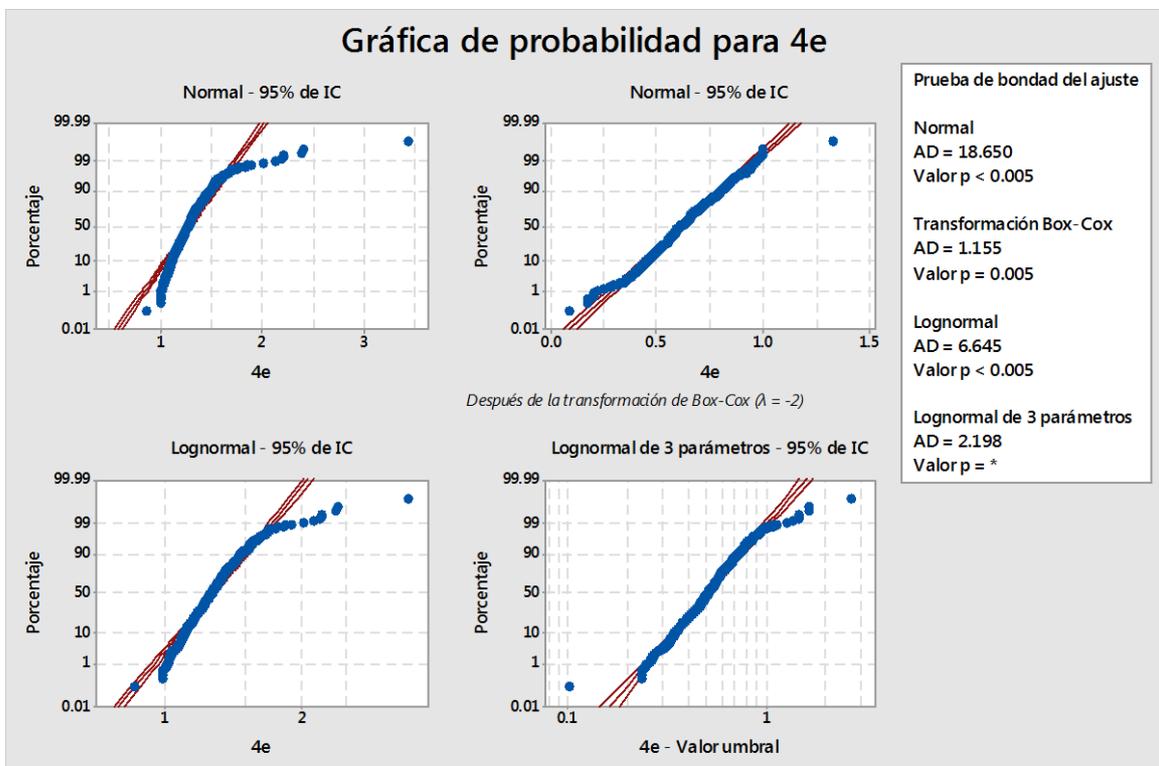


Figura 53. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

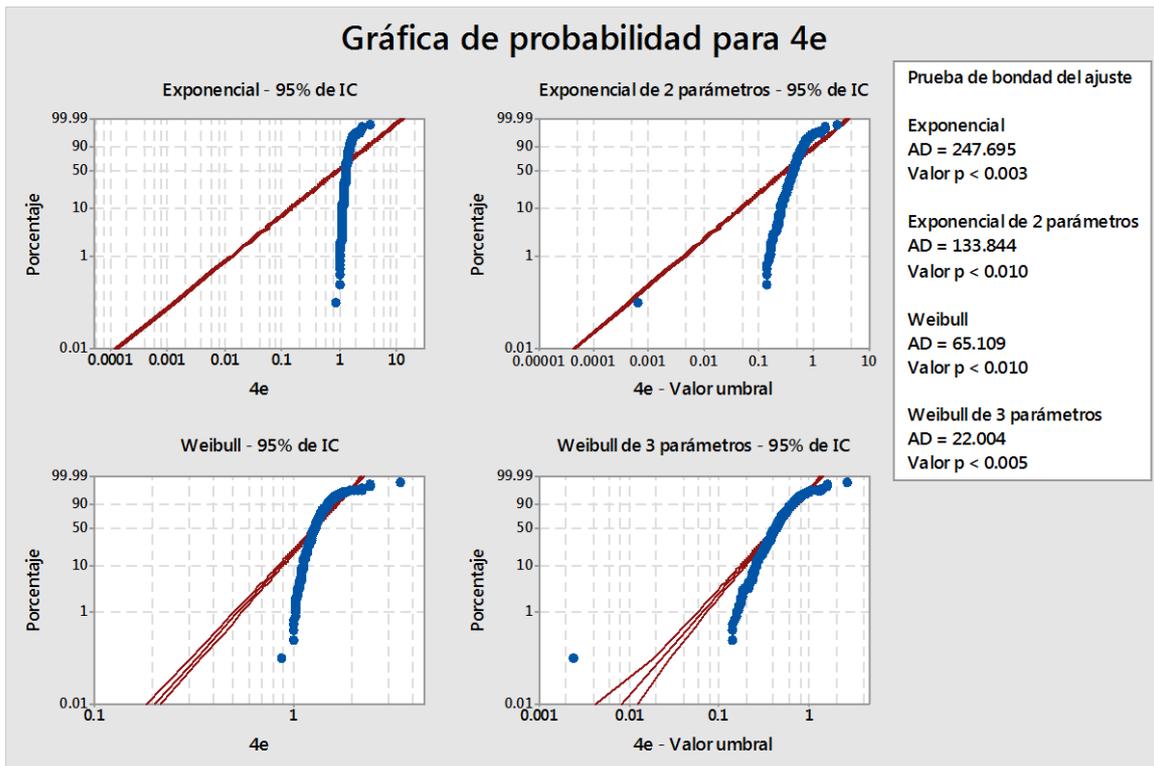


Figura 54. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

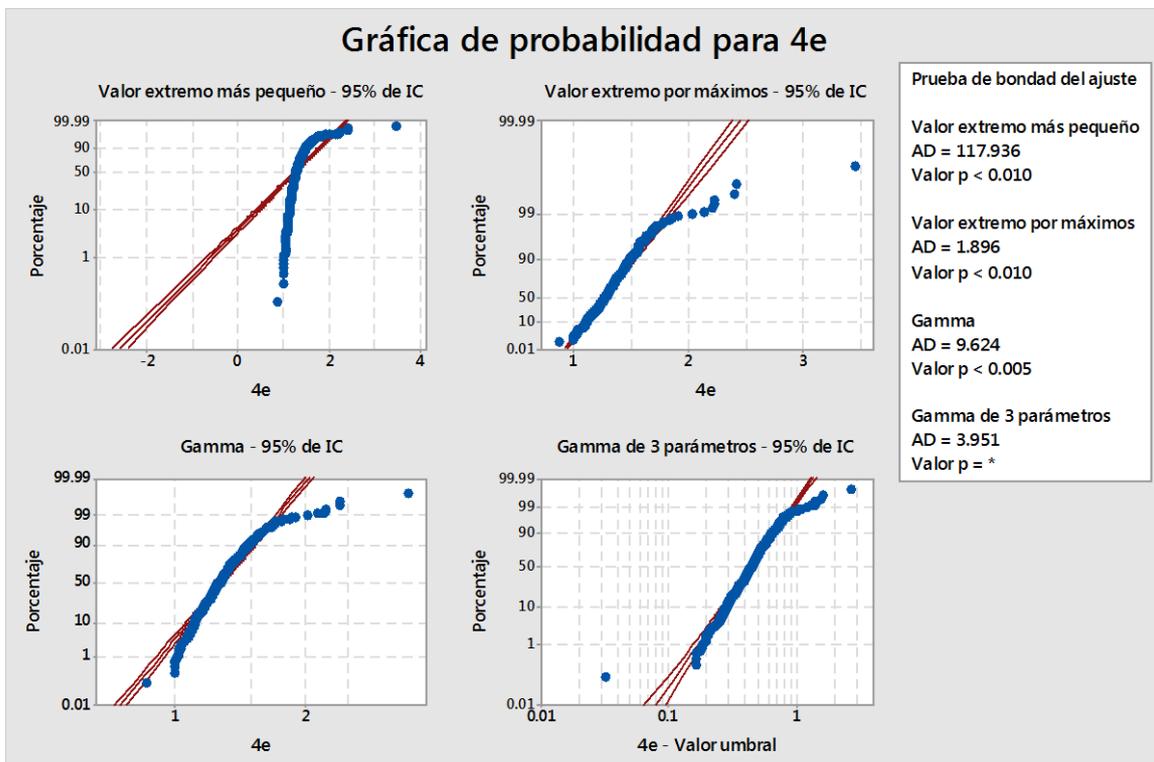


Figura 55. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

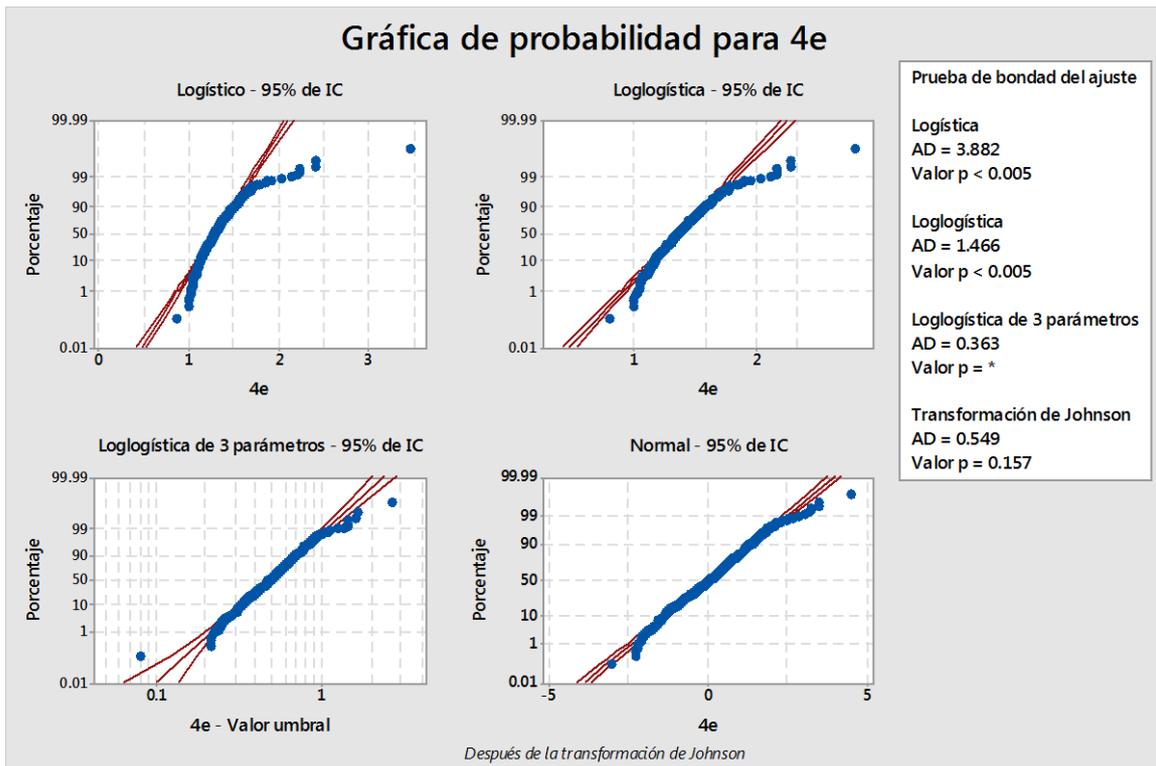


Figura 56. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

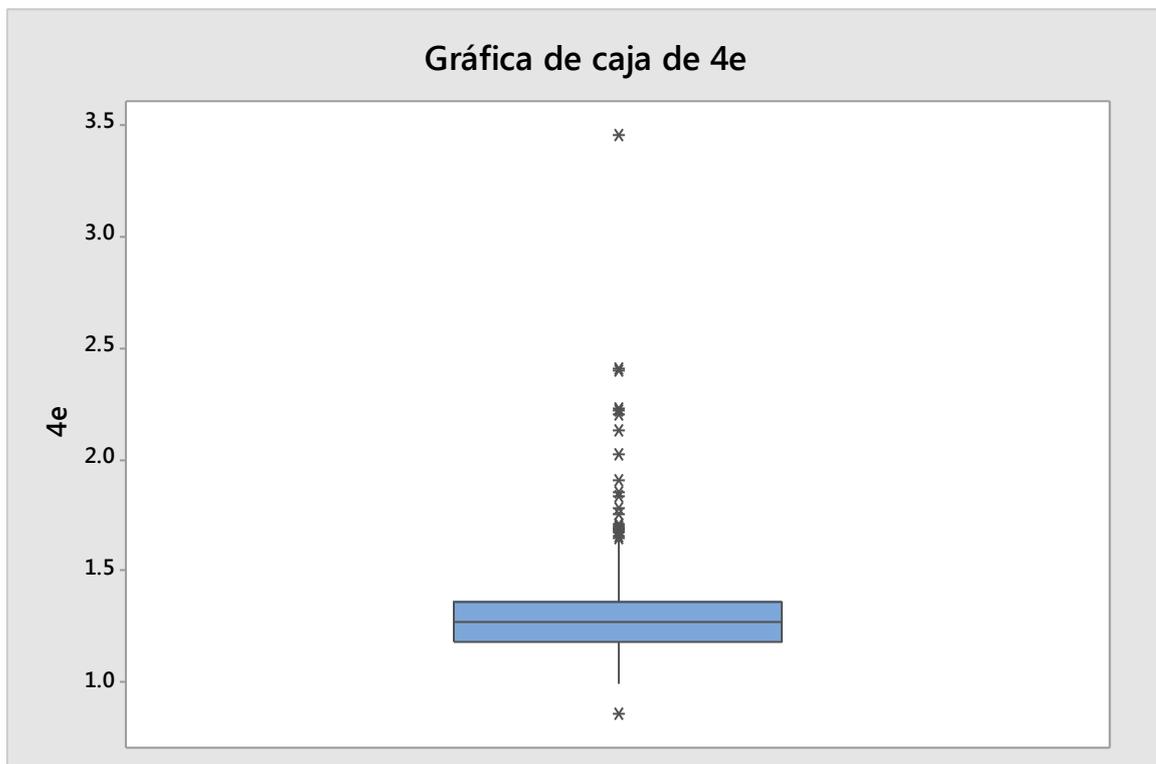


Figura 57. Gráfico de caja de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtois
690	3	1.30077	0.190975	1.27840	0.867464	3.44810	3.50426	28.0302

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.86746

Límite de control inferior

0.9986500                      3.44810

Límite de control superior

Línea central 1.30077

### Estandarización semana 5

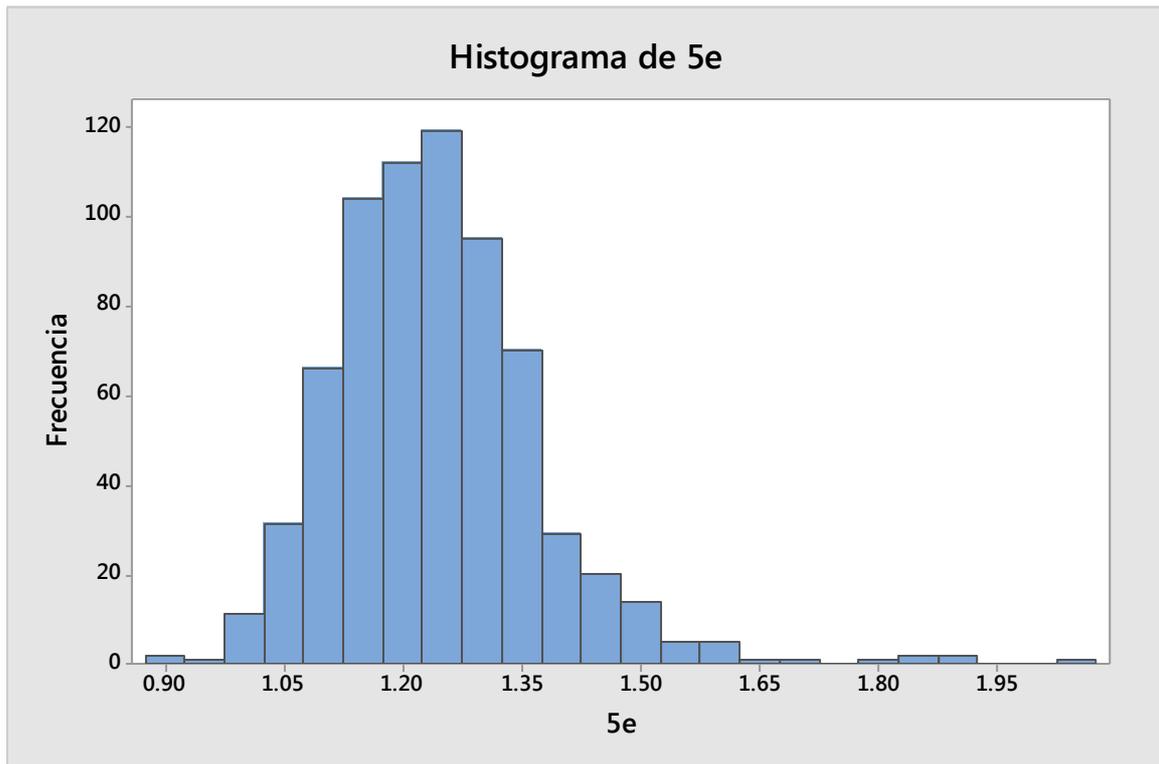


Figura 58. Histograma de la semana 5 estandarizada

Fuente: Elaboración propia

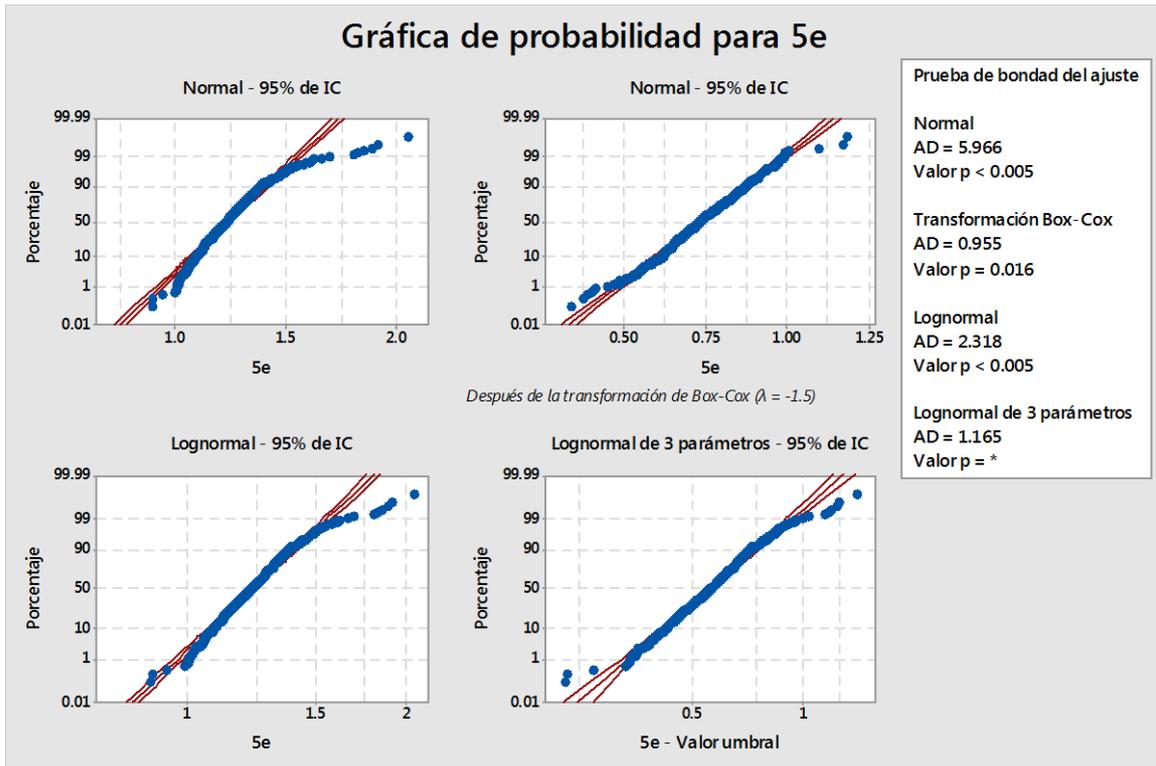


Figura 59. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 5  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 5

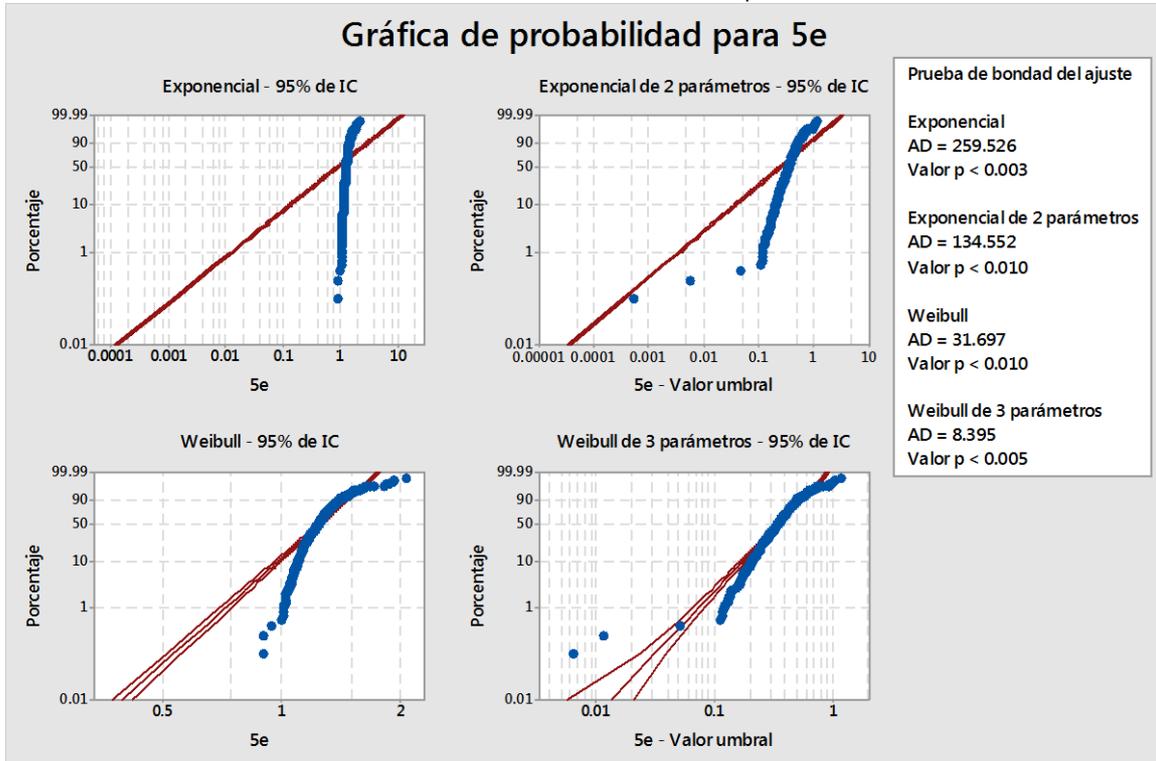


Figura 60. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 5  
Fuente: Elaboración propia

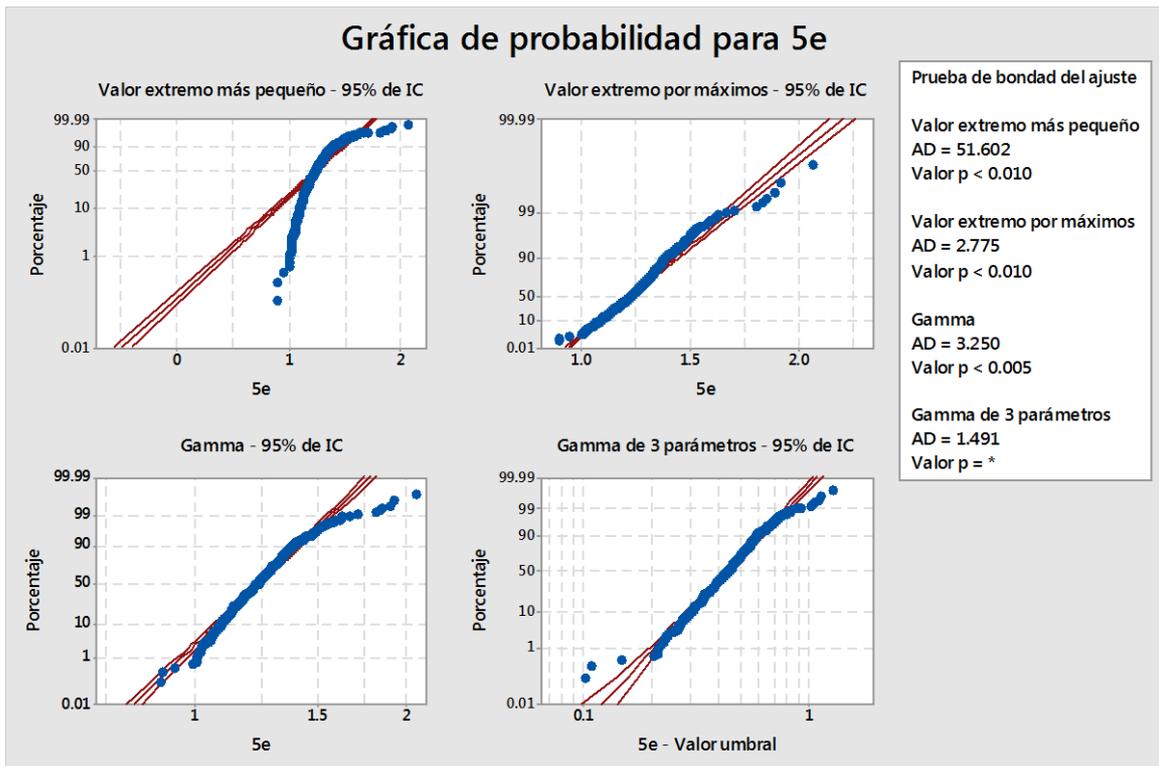


Figura 61. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 5  
Fuente: Elaboración propia

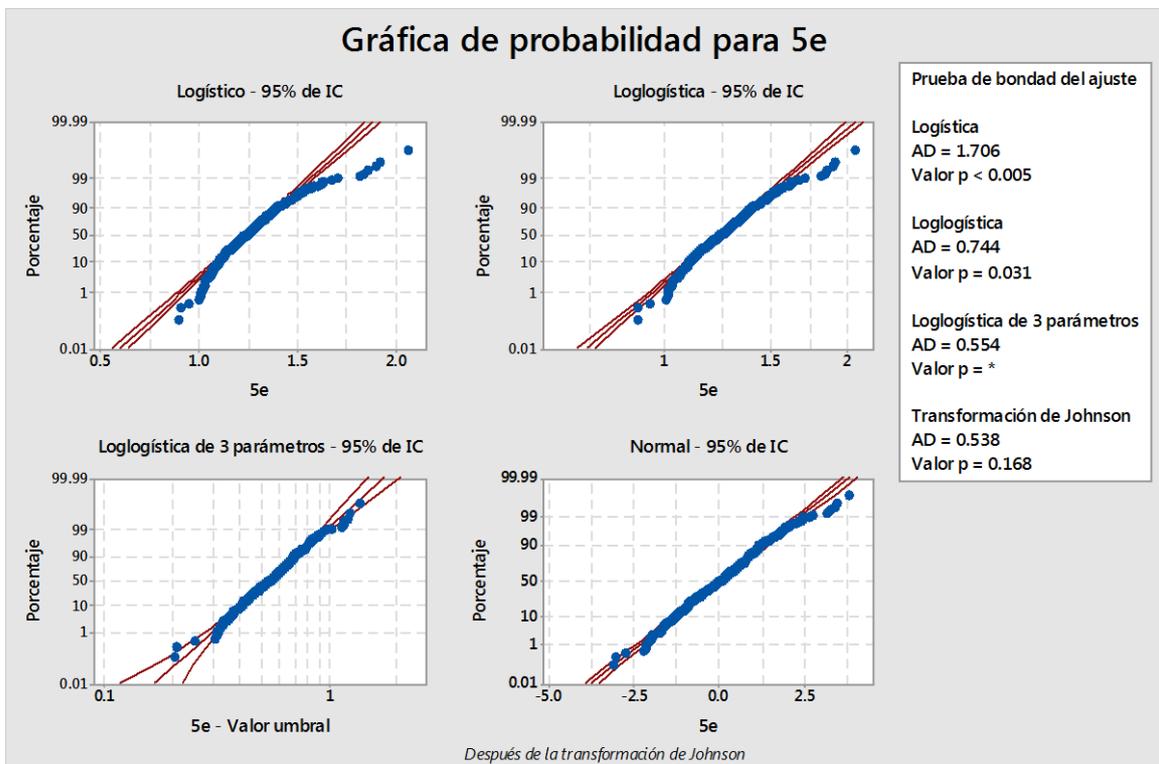


Figura 62. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 5  
Fuente: Elaboración propia

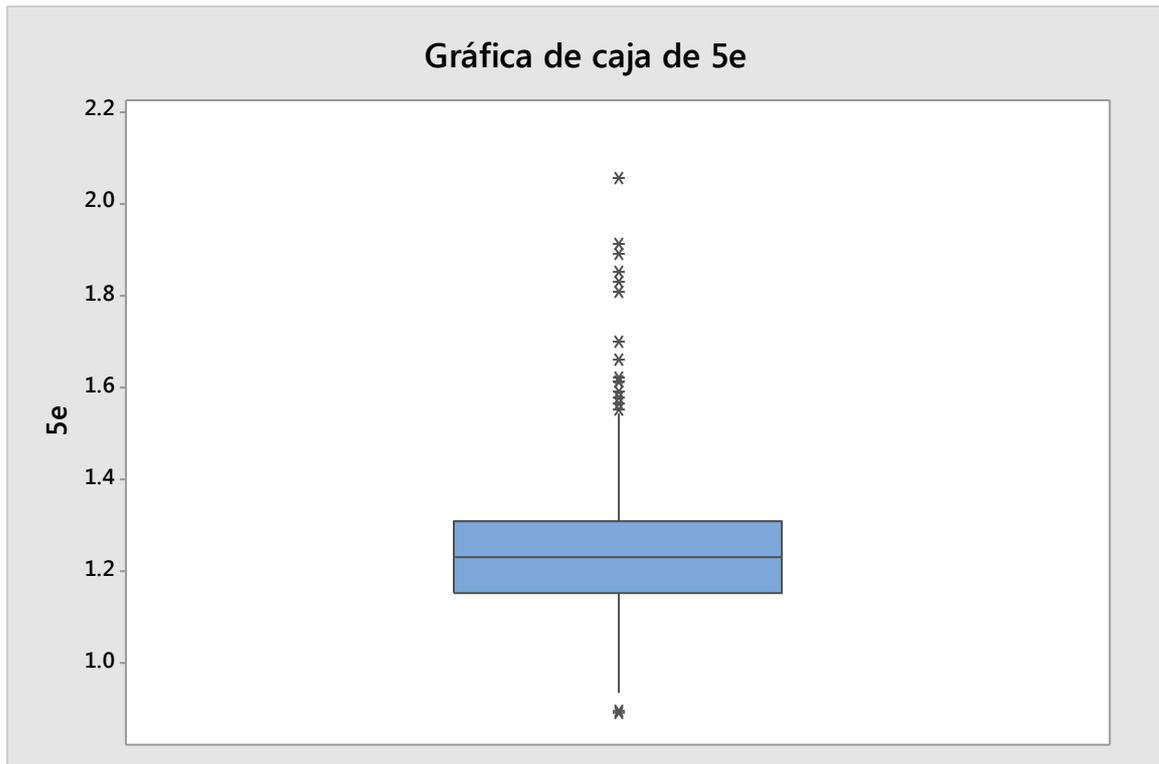


Figura 63. Gráfico de caja de la semana 5  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
692	1	1.24362	0.132631	1.23474	0.895414	2.06015	1.32932	4.83654

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.89541

Límite de control inferior

0.9986500                      2.06015

Límite de control superior

Línea central 1.24362

## Estandarización semana 6

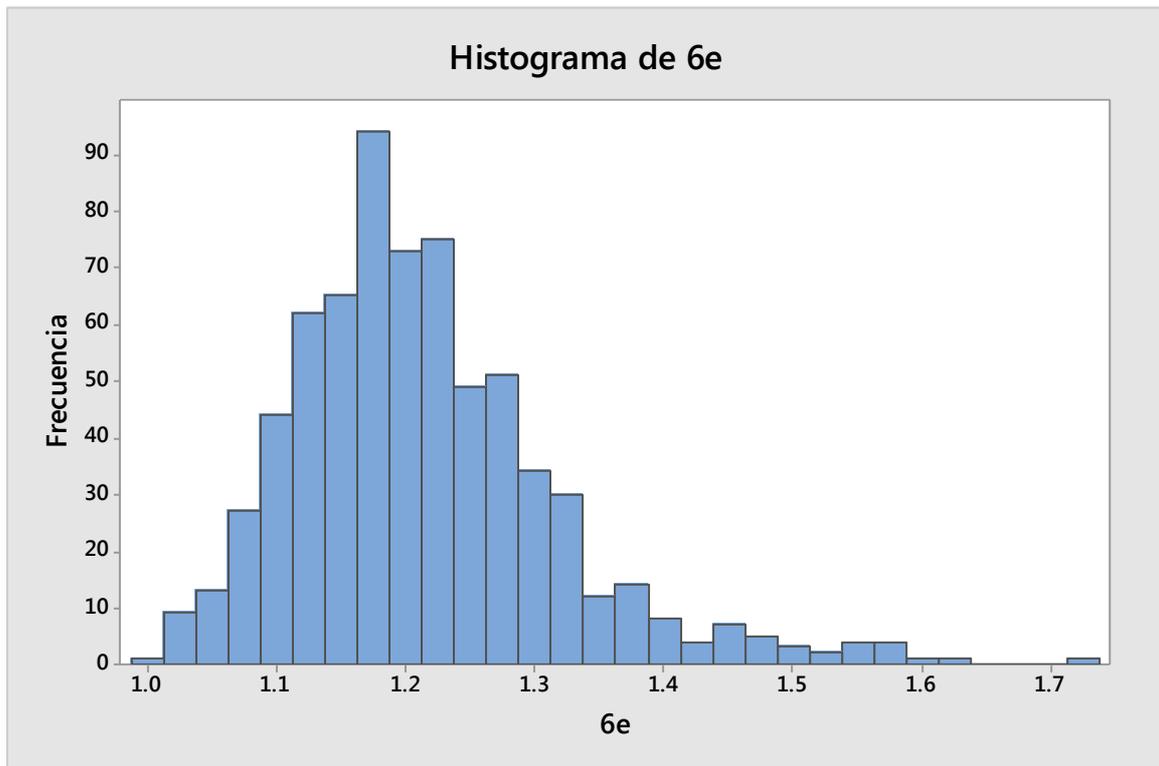


Figura 64. Histograma de la semana 6 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

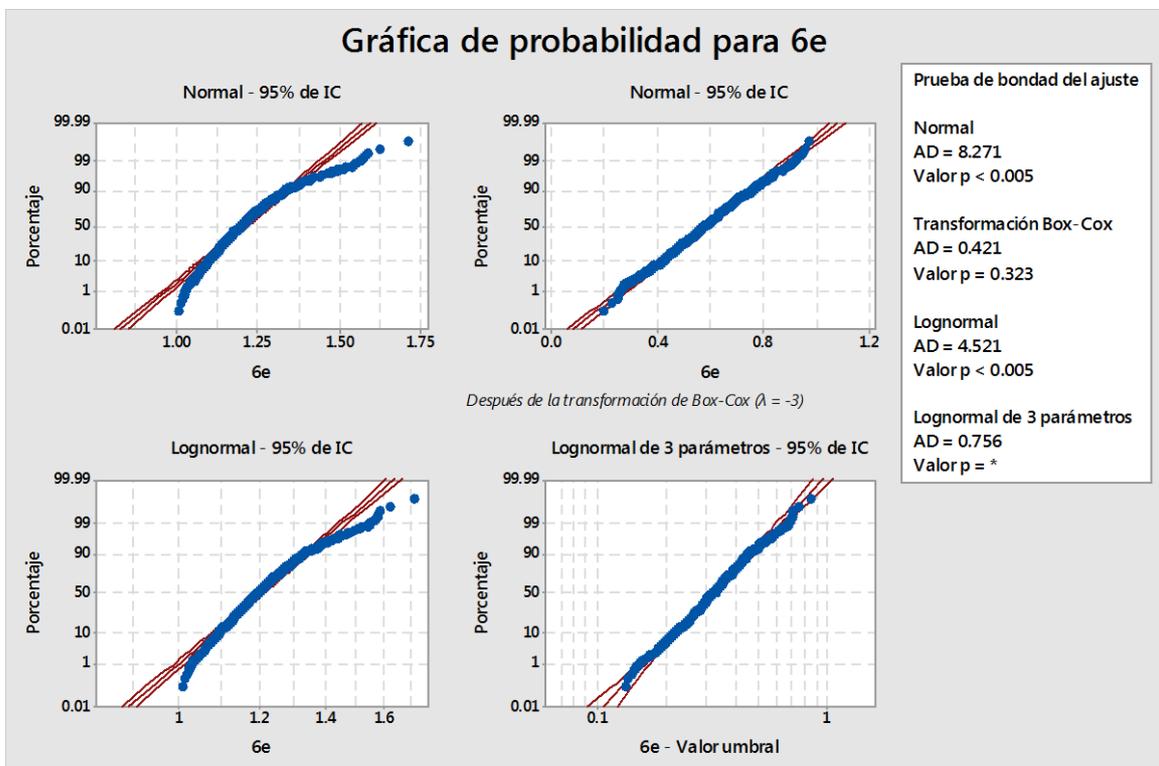


Figura 65. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

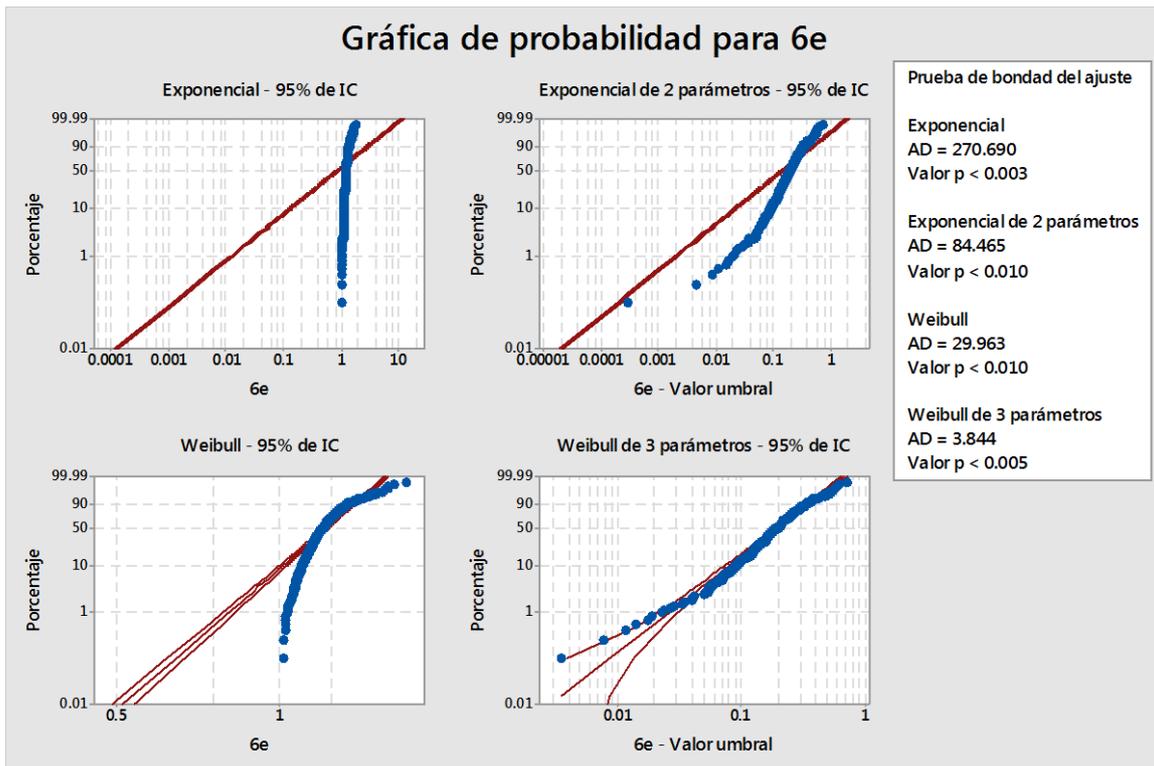


Figura 66. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

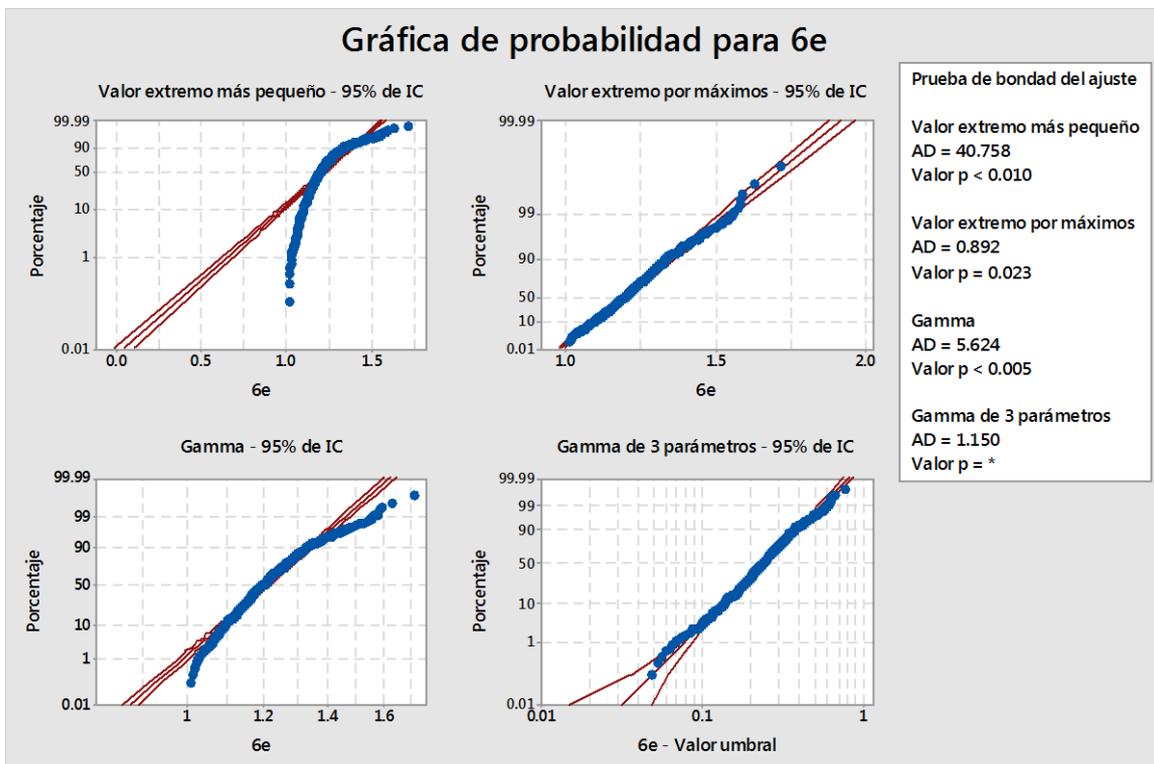


Figura 67. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

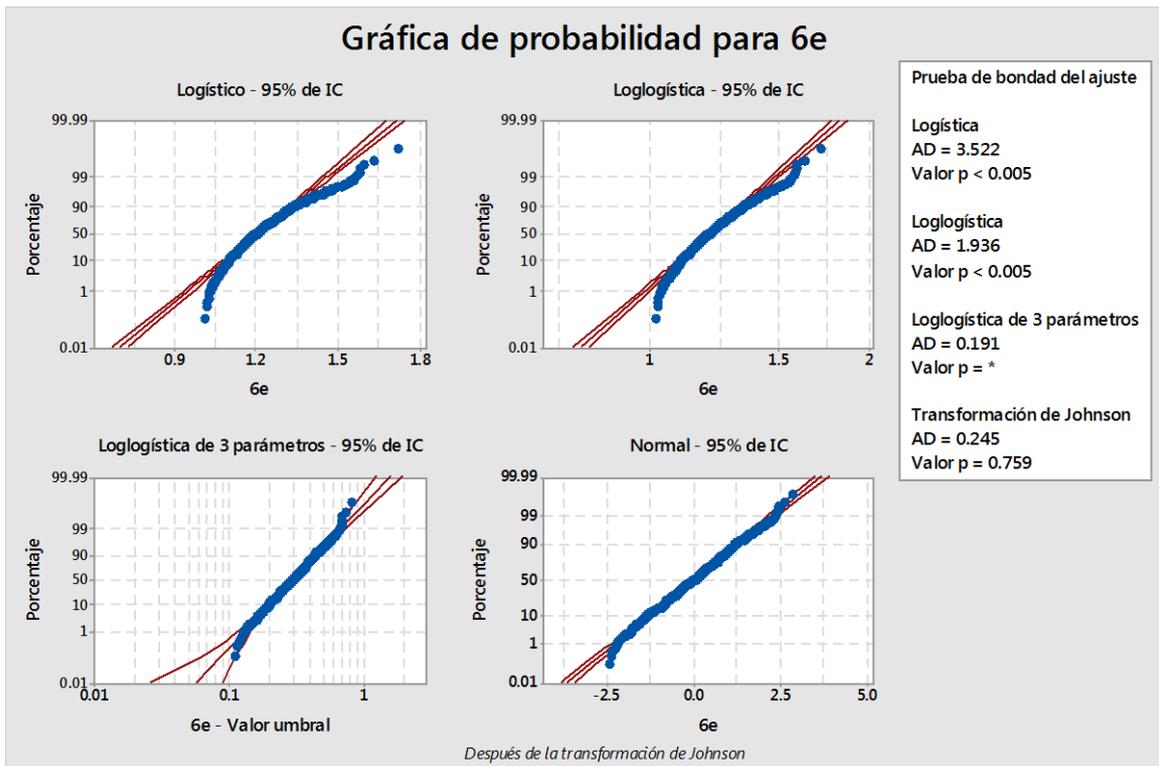


Figura 68. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

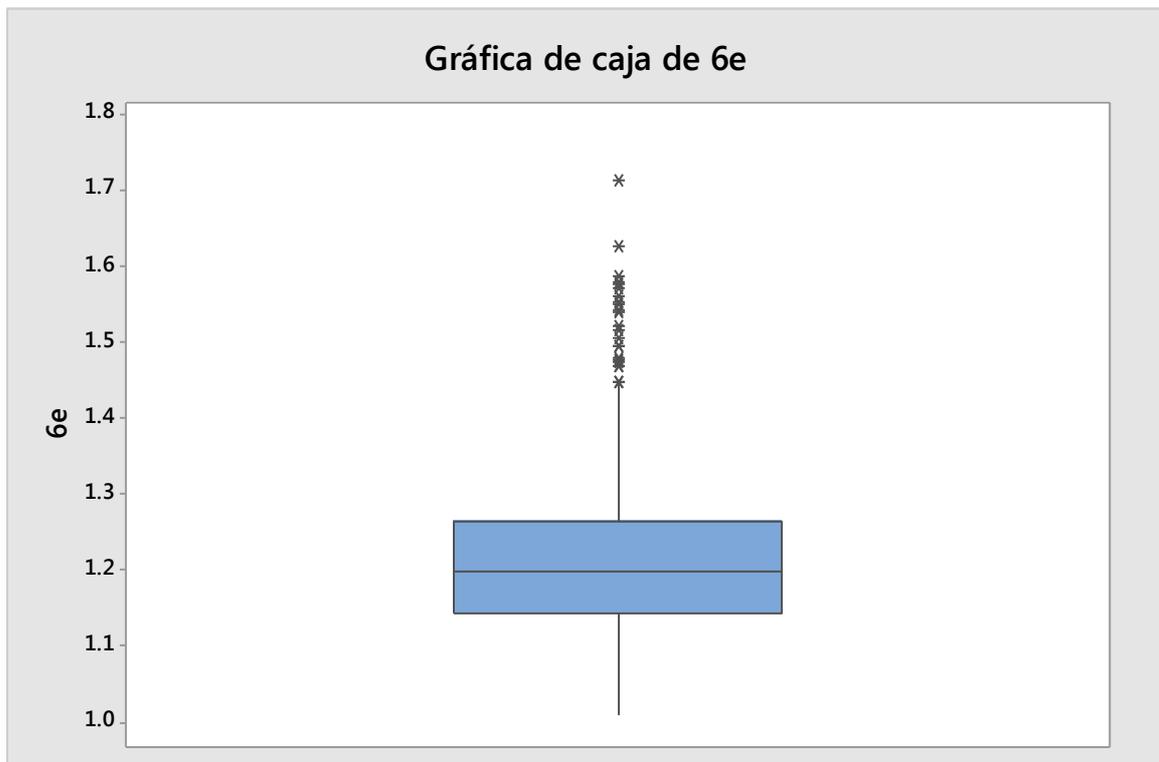


Figura 69. Gráfico de caja de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
693	0	1.21309	0.102543	1.20046	1.01073	1.71450	1.11209	2.18931

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      1.01073                      Límite de control inferior

0.9986500                      1.71450                      Límite de control superior

Línea central 1.21309

### Estandarización semana 7

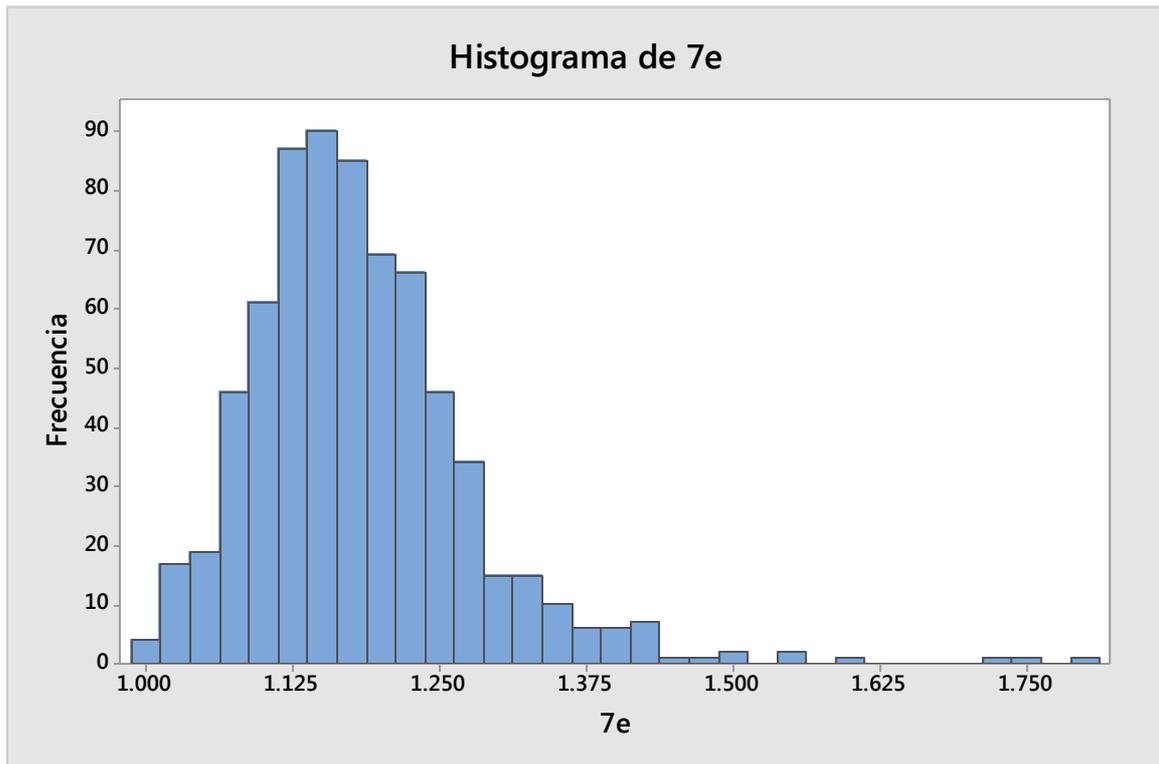


Figura 70. Histograma de la semana 7 estandarizada

Fuente: Elaboración propia

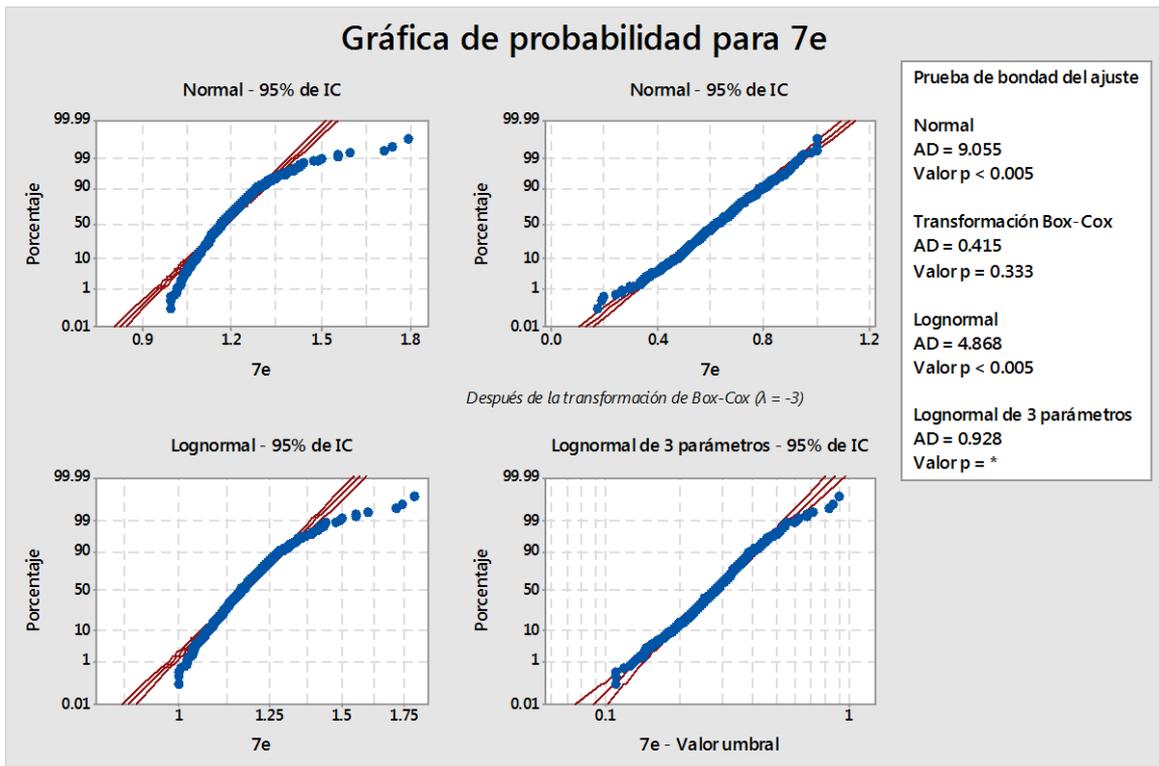


Figura 71. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 7  
Fuente: Elaboración propia

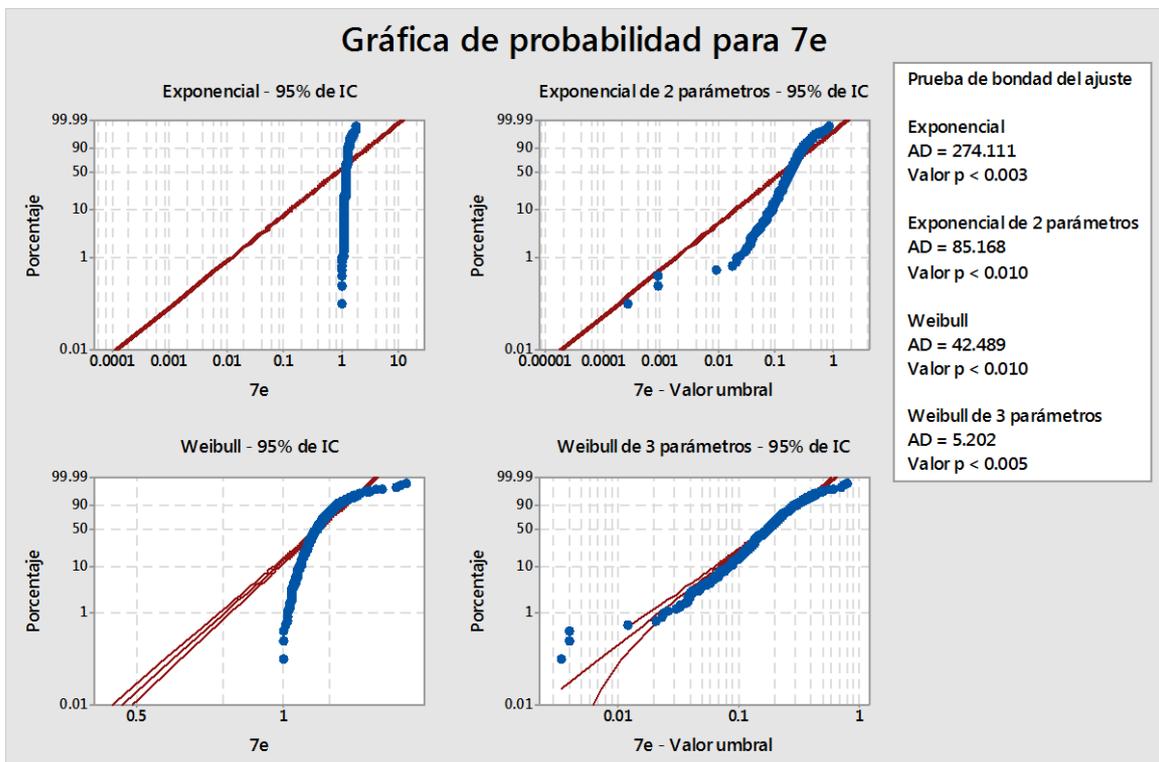


Figura 72. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 7  
Fuente: Elaboración propia

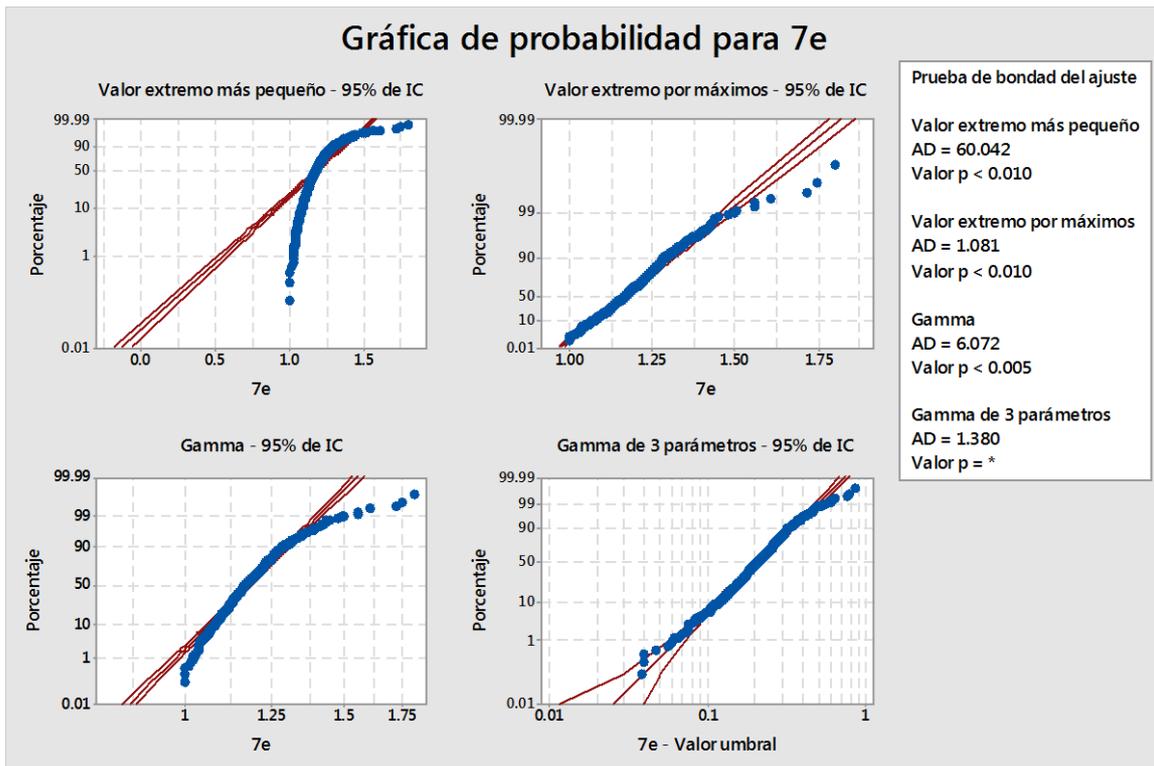


Figura 73. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 7  
Fuente: Elaboración propia

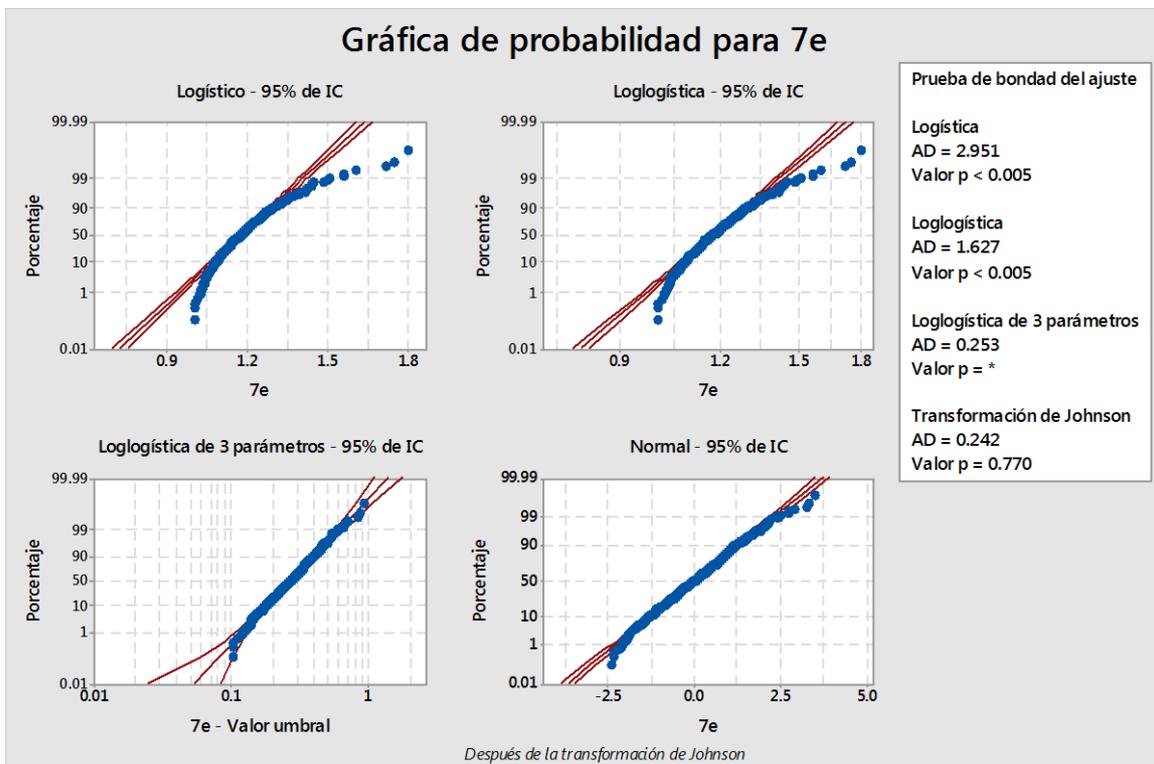


Figura 74. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 7  
Fuente: Elaboración propia

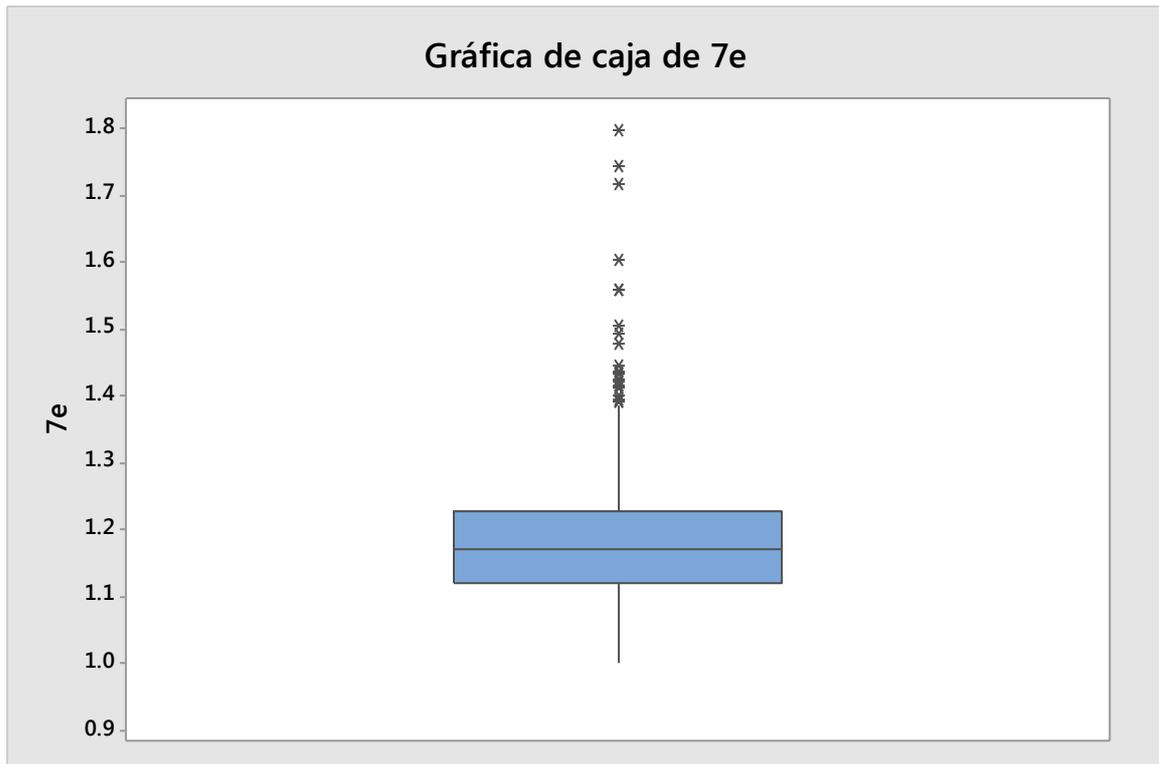


Figura 75. Gráfico de caja de la semana 7

Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
693	0	1.18204	0.0954046	1.16940	0.999417	1.79641	1.62524	6.14588

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.99942

Límite de control inferior

0.9986500                      1.79641

Límite de control superior

Línea central 1.18204

## Estandarización semana 8

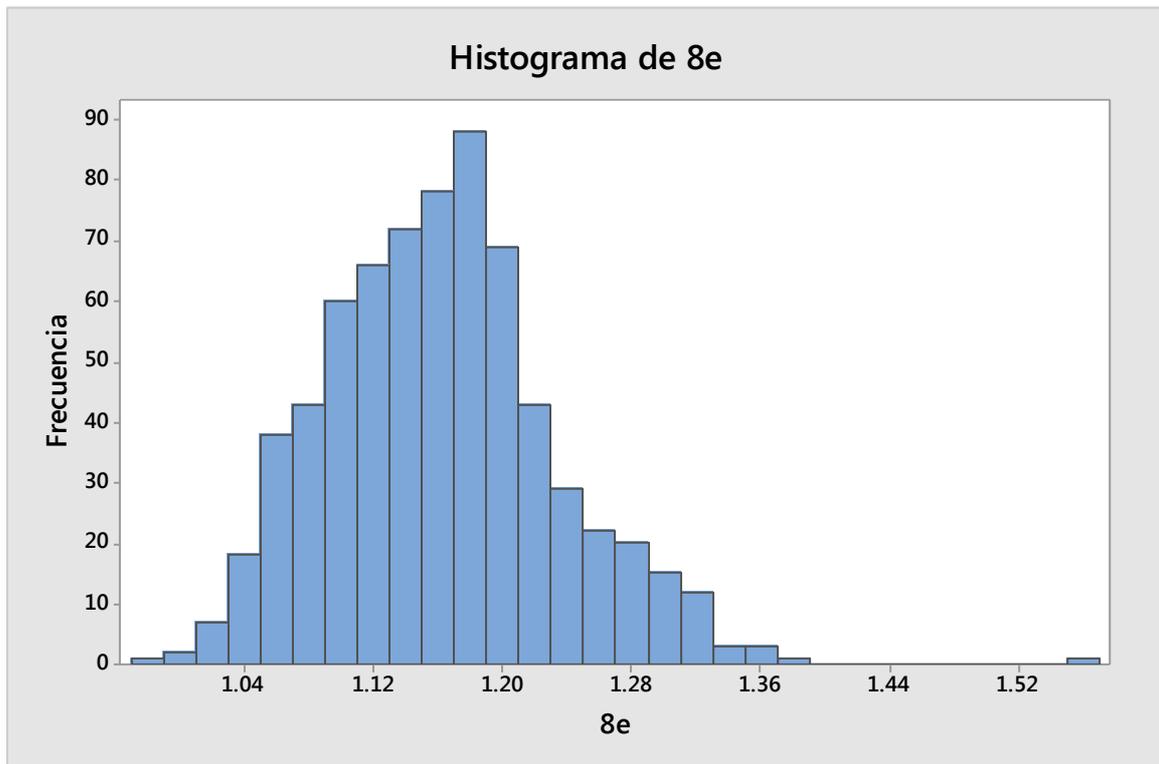


Figura 76. Histograma de la semana 8 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

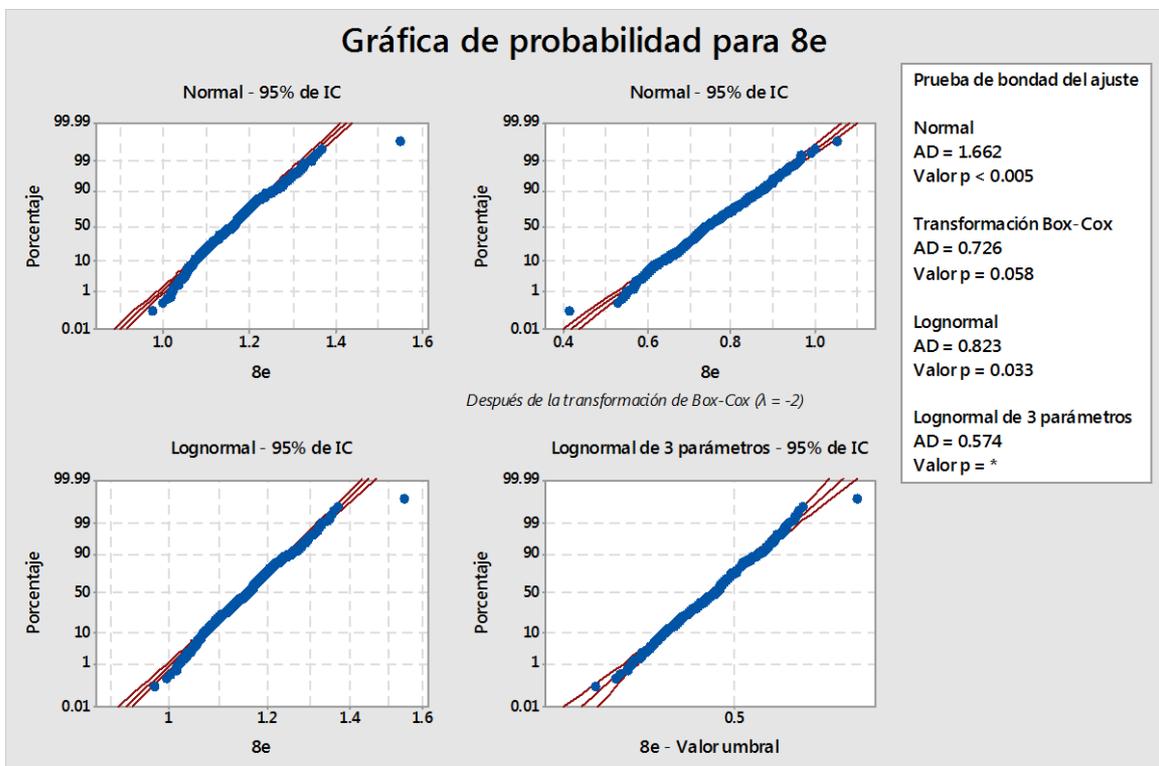


Figura 77. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 8  
Fuente: Elaboración propia

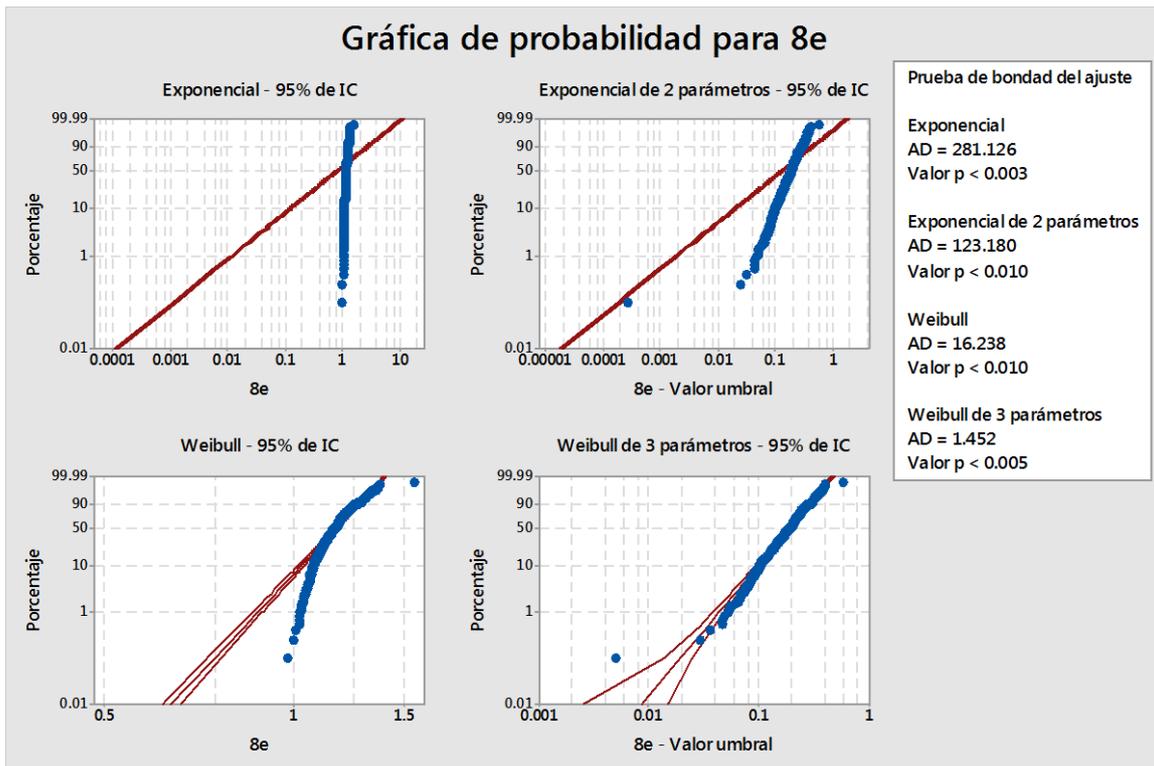


Figura 78. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 8  
Fuente: Elaboración propia

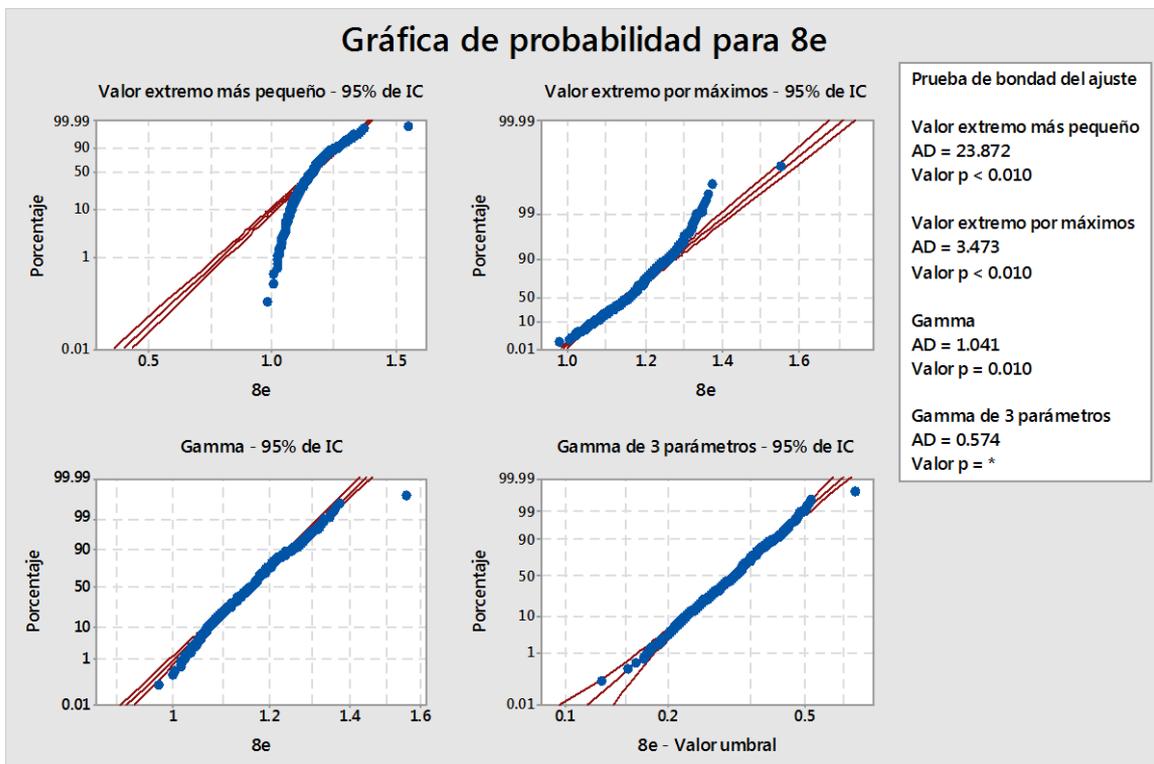


Figura 79. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 8  
Fuente: Elaboración propia

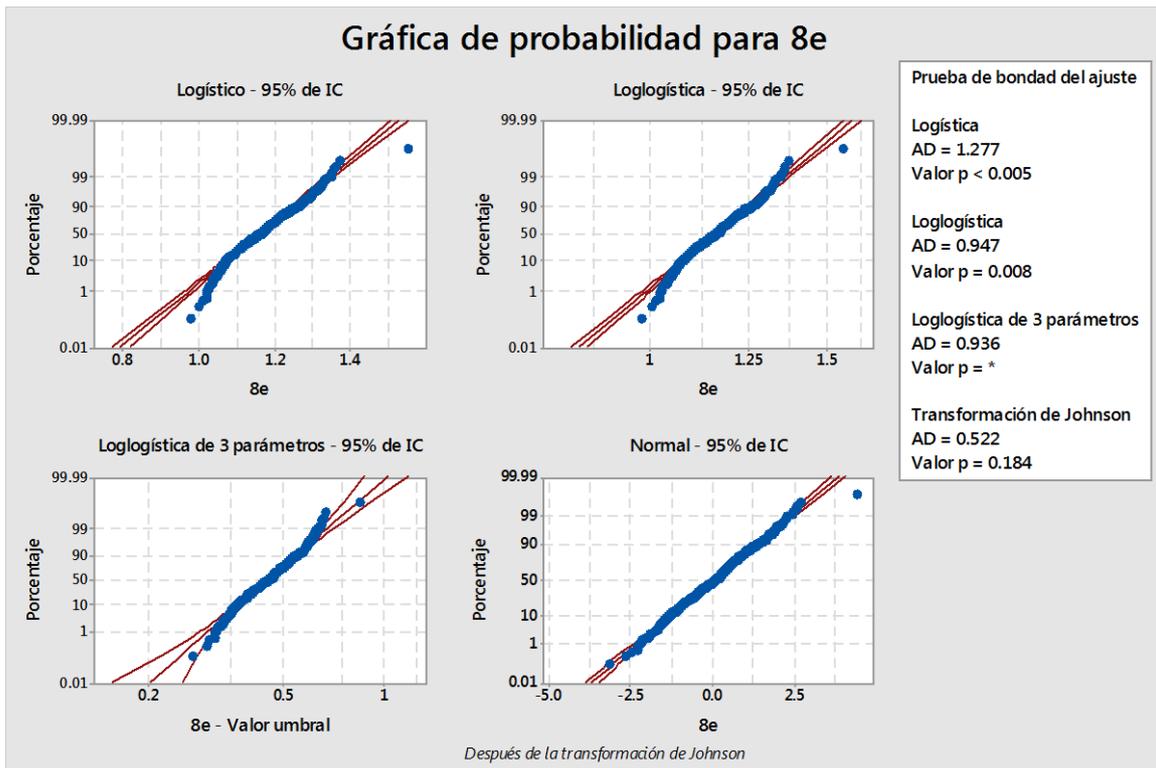


Figura 80. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 8  
Fuente: Elaboración propia

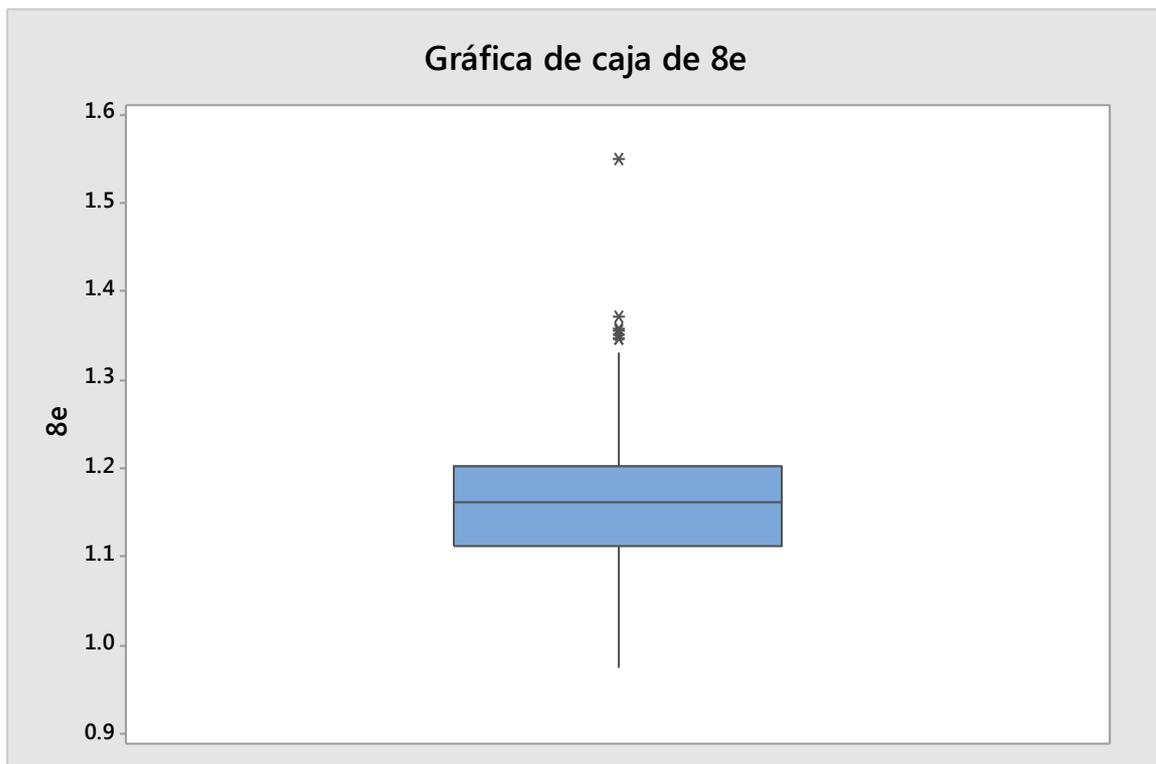


Figura 81. Gráfico de caja de la semana 8  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtois
691	2	1.16151	0.0706370	1.16082	0.975420	1.55098	0.523075	1.01276

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.97542

Límite de control inferior

0.9986500                      1.55098

Límite de control superior

Línea central 1.16151

### Estandarización semana 9

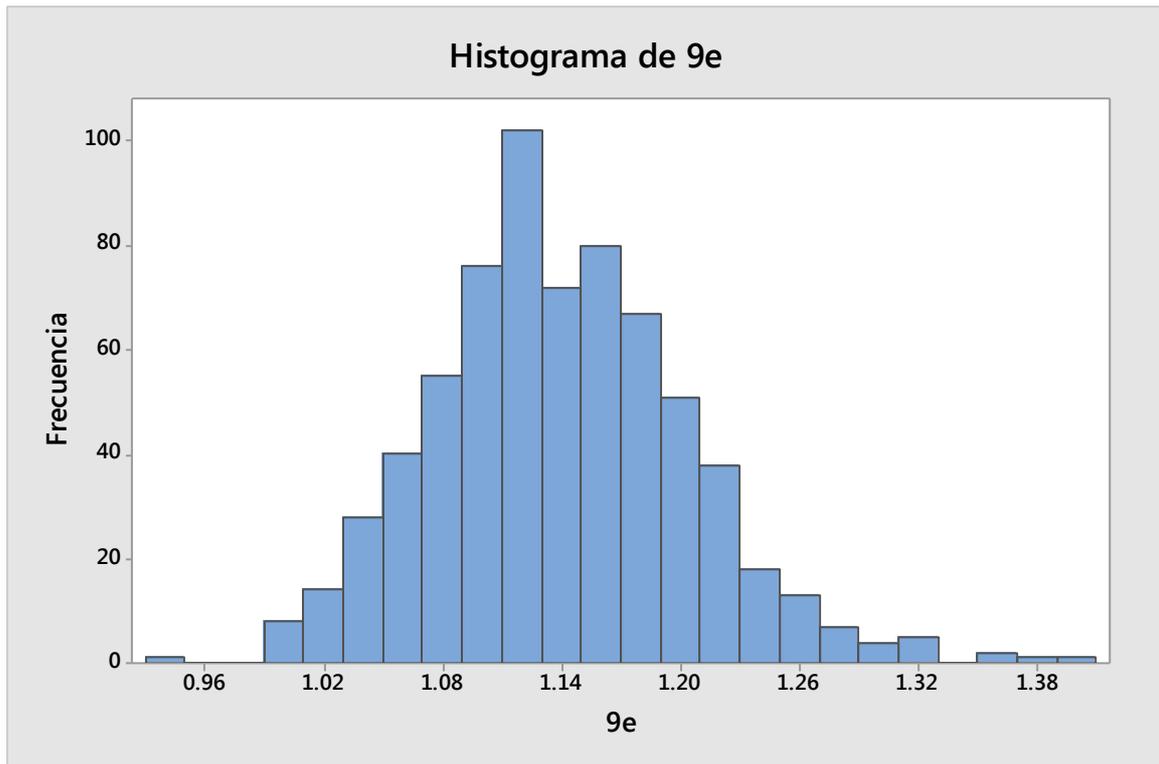


Figura 82. Histograma de la semana 9

Fuente: Elaboración propia

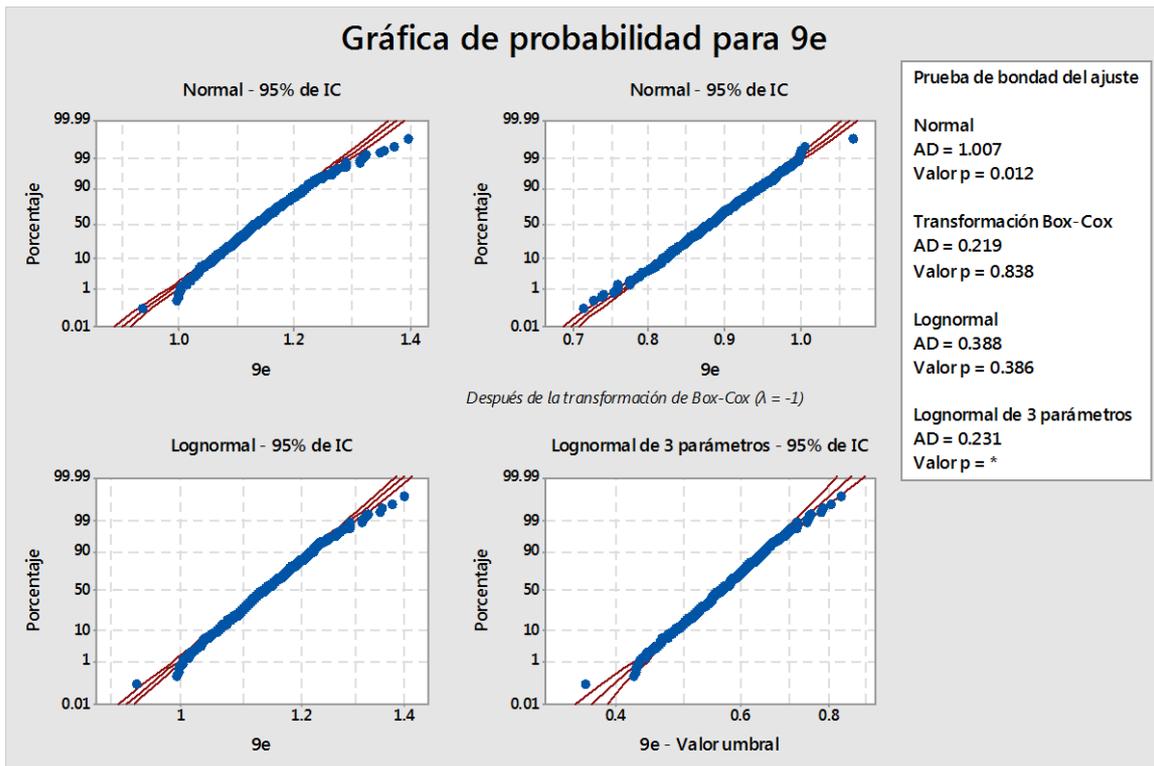


Figura 83. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 9  
Fuente: Elaboración propia

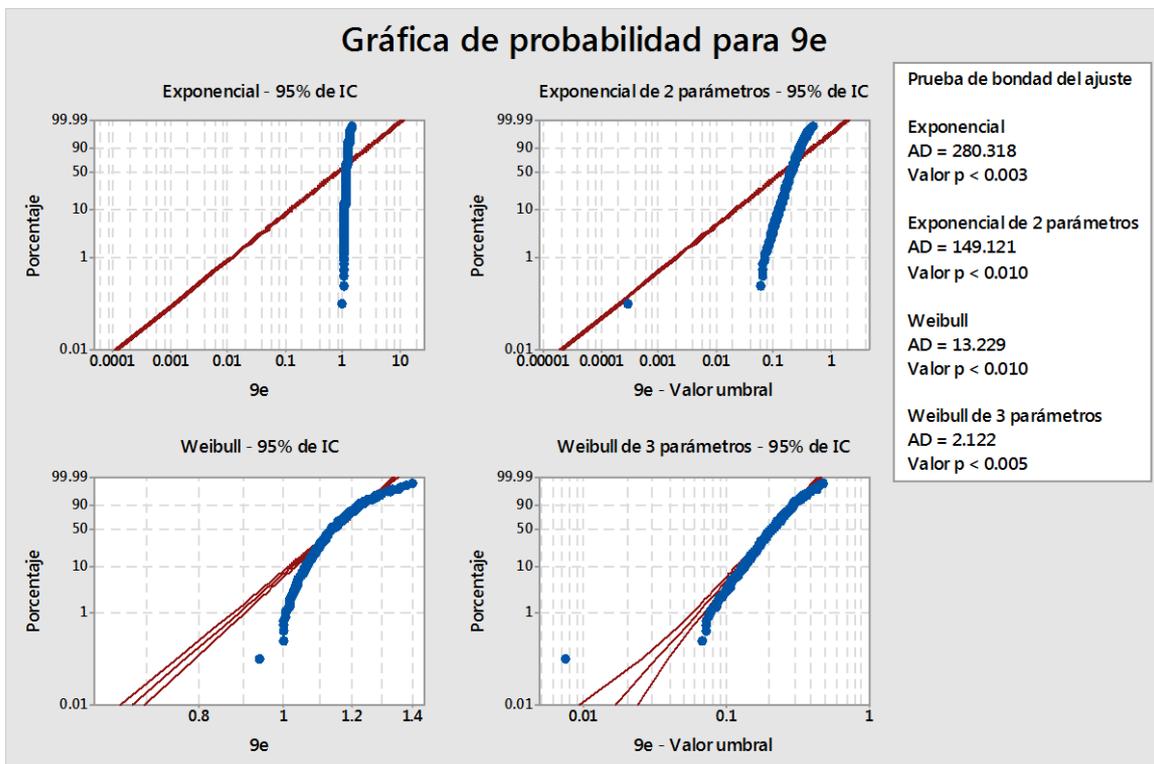


Figura 84. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 9  
Fuente: Elaboración propia

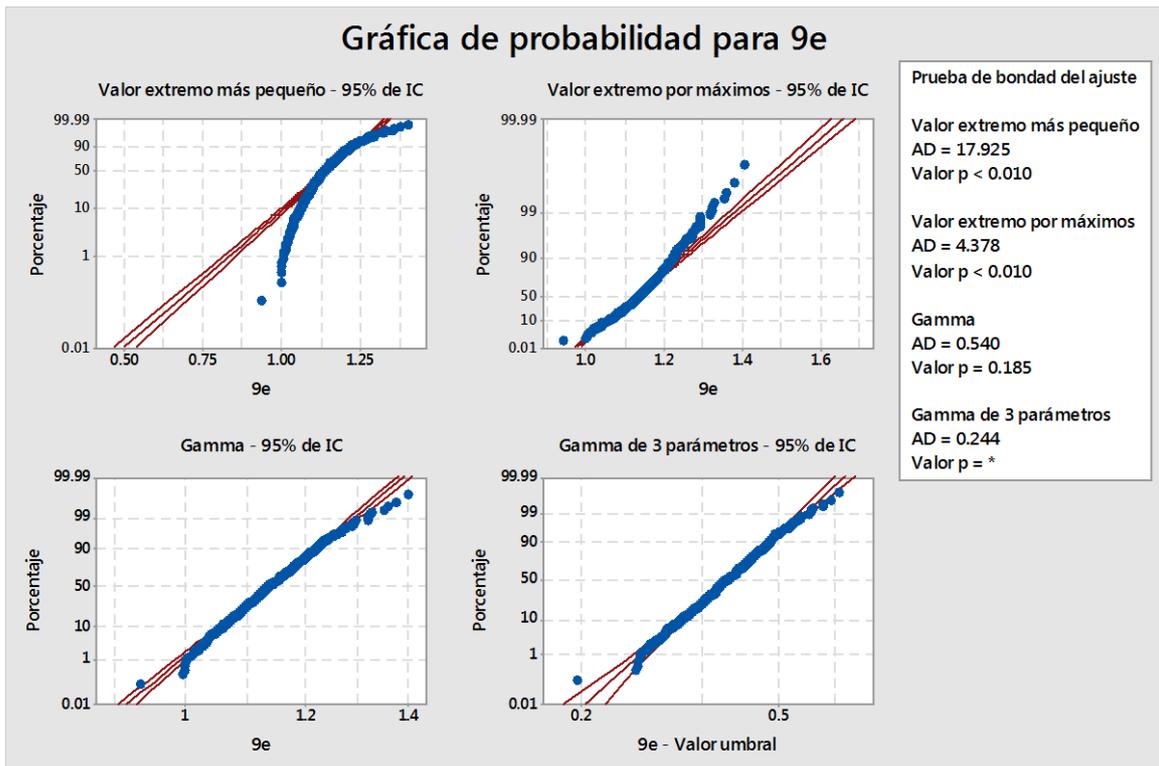


Figura 85. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 9  
Fuente: Elaboración propia

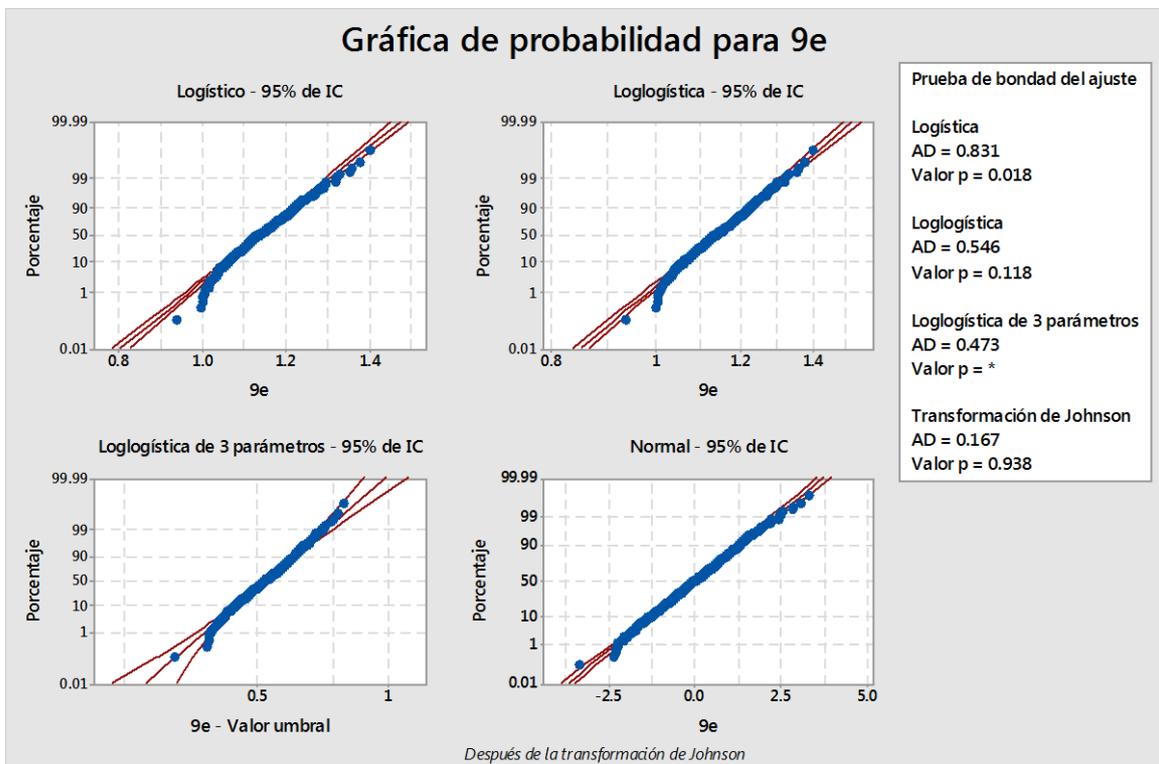


Figura 86. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 9  
Fuente: Elaboración propia

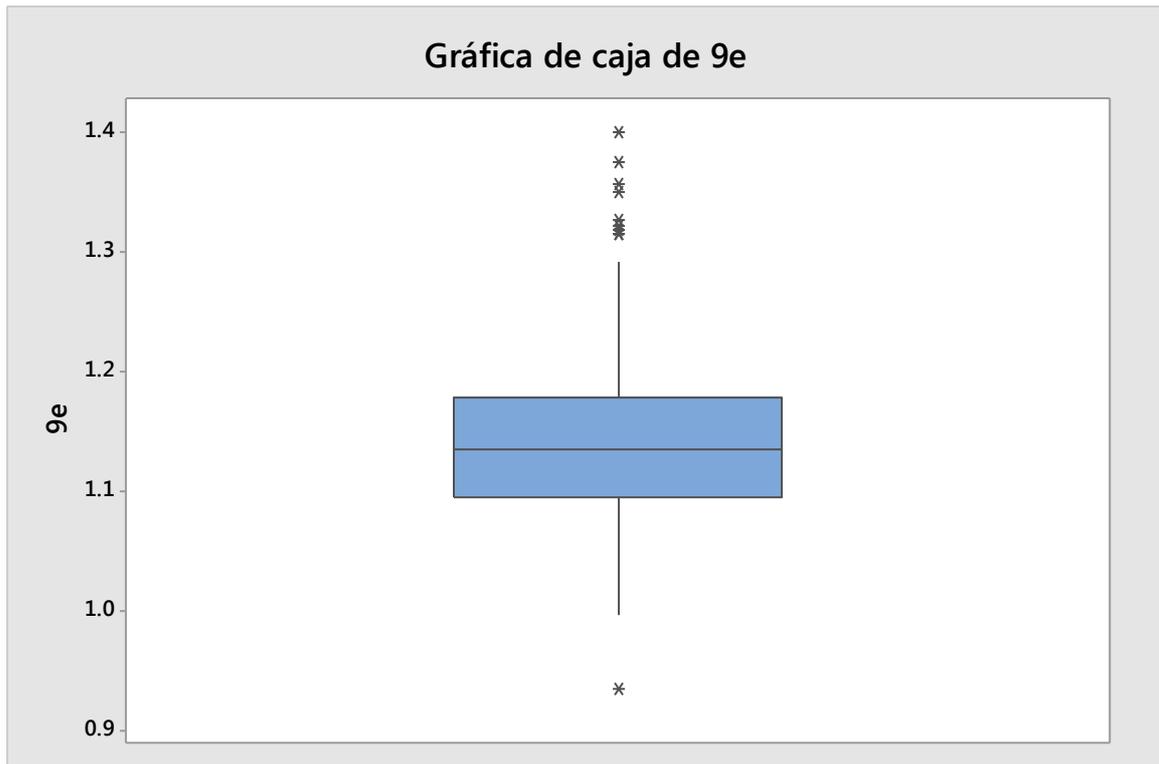


Figura 87. Gráfico de caja de la semana 9  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
683	10	1.13936	0.0642920	1.13537	0.936074	1.40060	0.402533	0.600704

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.93607

Límite de control inferior

0.9986500                      1.40060

Límite de control superior

Línea central 1.13936

## Estandarización semana 10

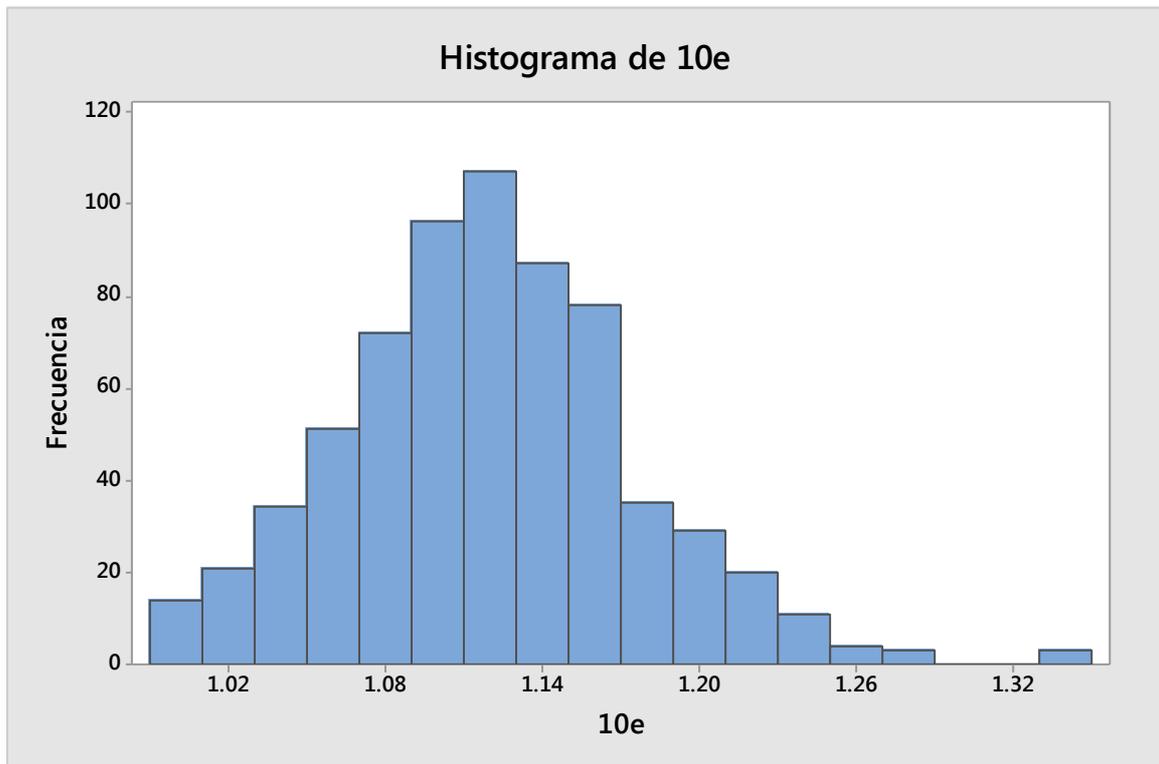


Figura 88. Histograma de la semana 10 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

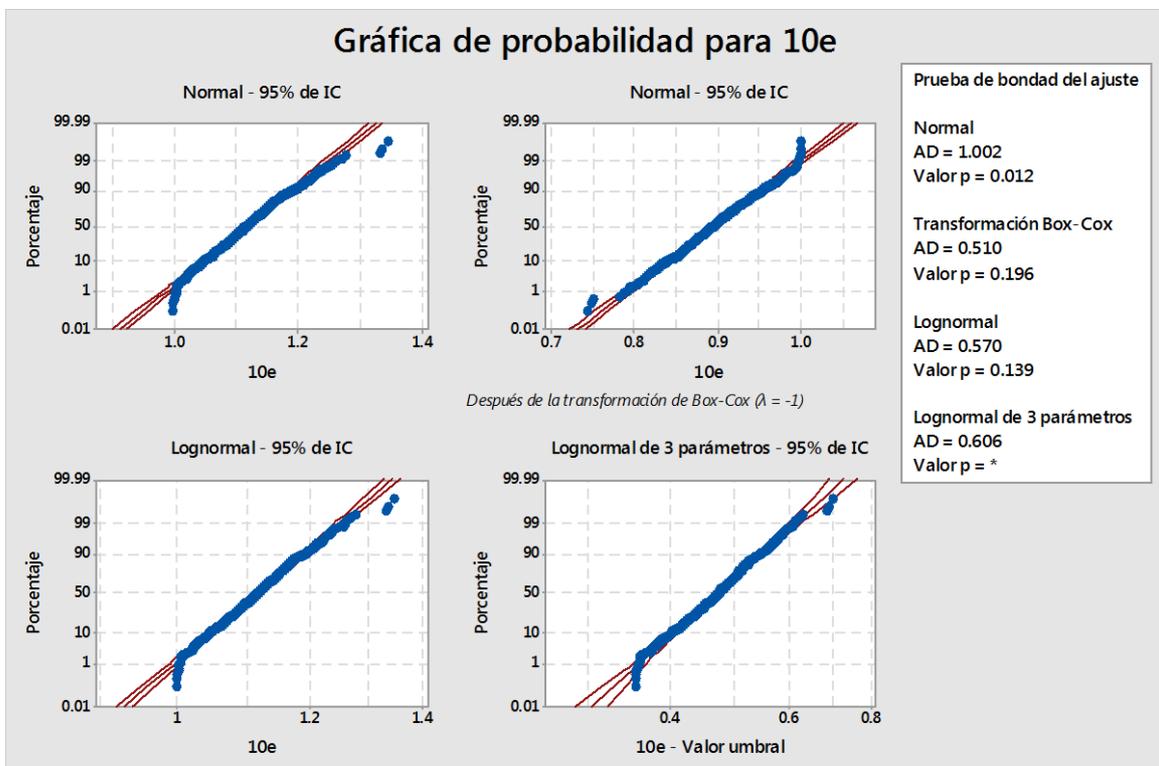


Figura 89. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 10  
Fuente: Elaboración propia

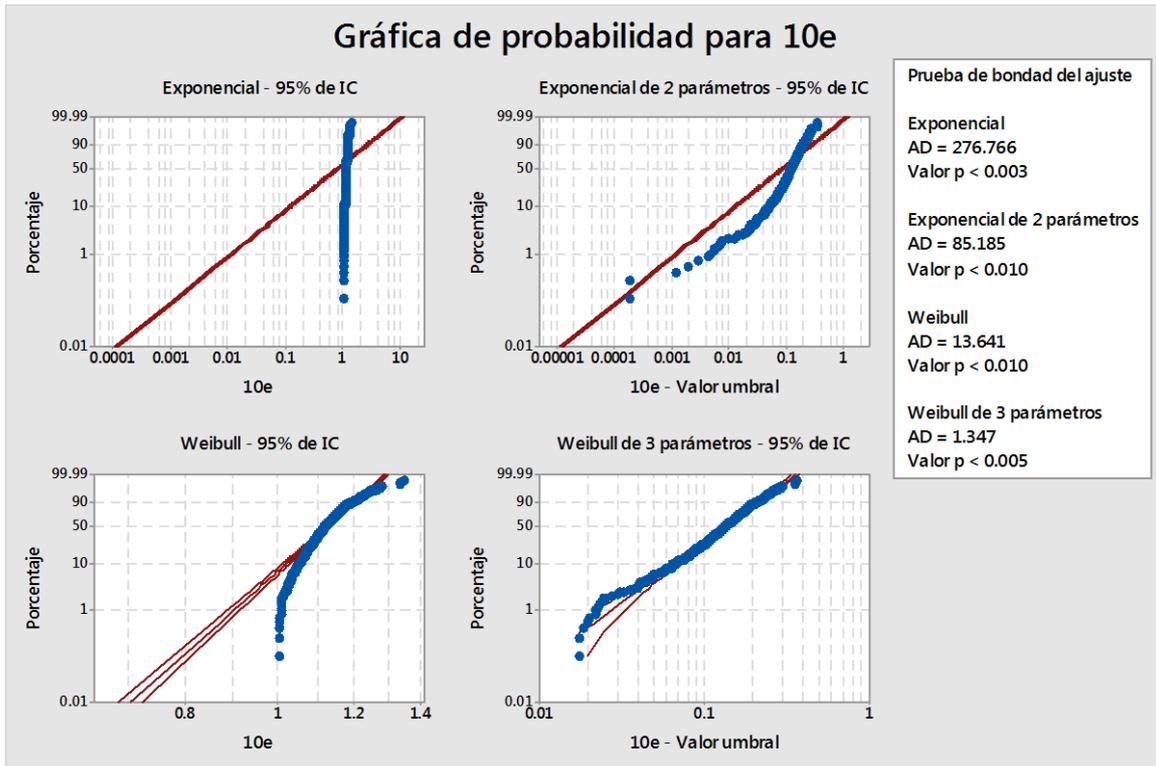


Figura 90. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 10  
Fuente: Elaboración propia

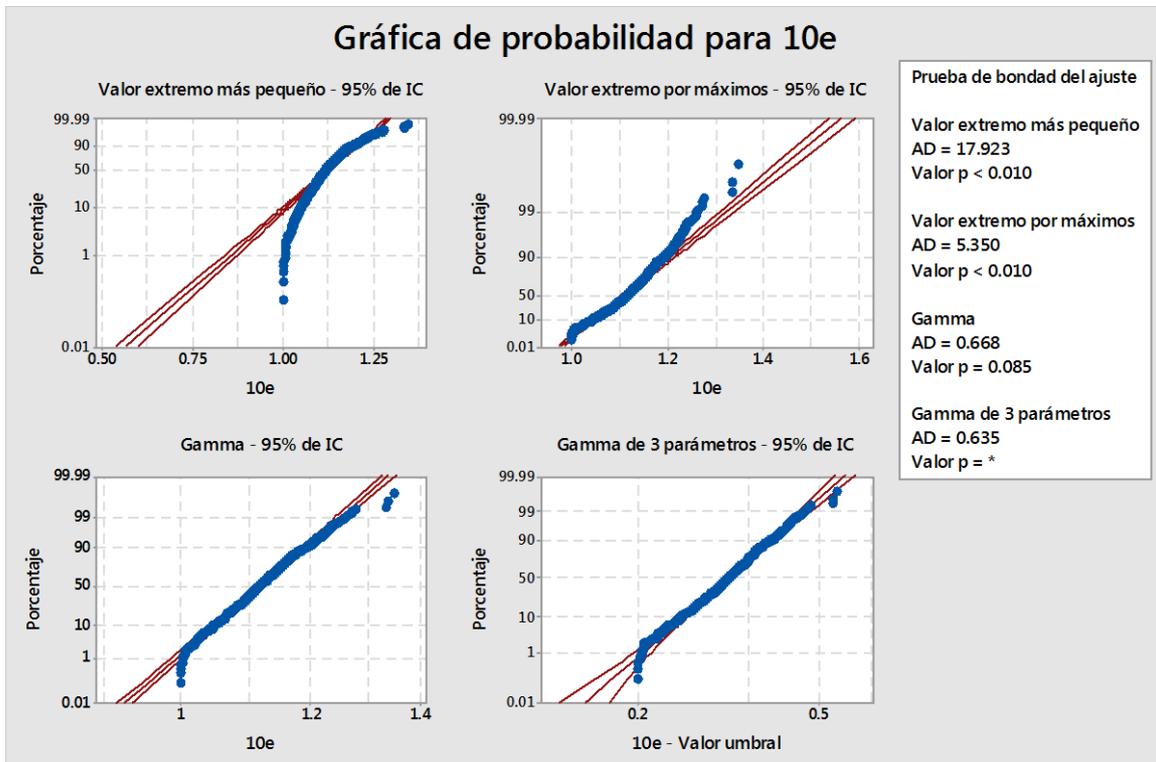


Figura 91. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 10  
Fuente: Elaboración propia

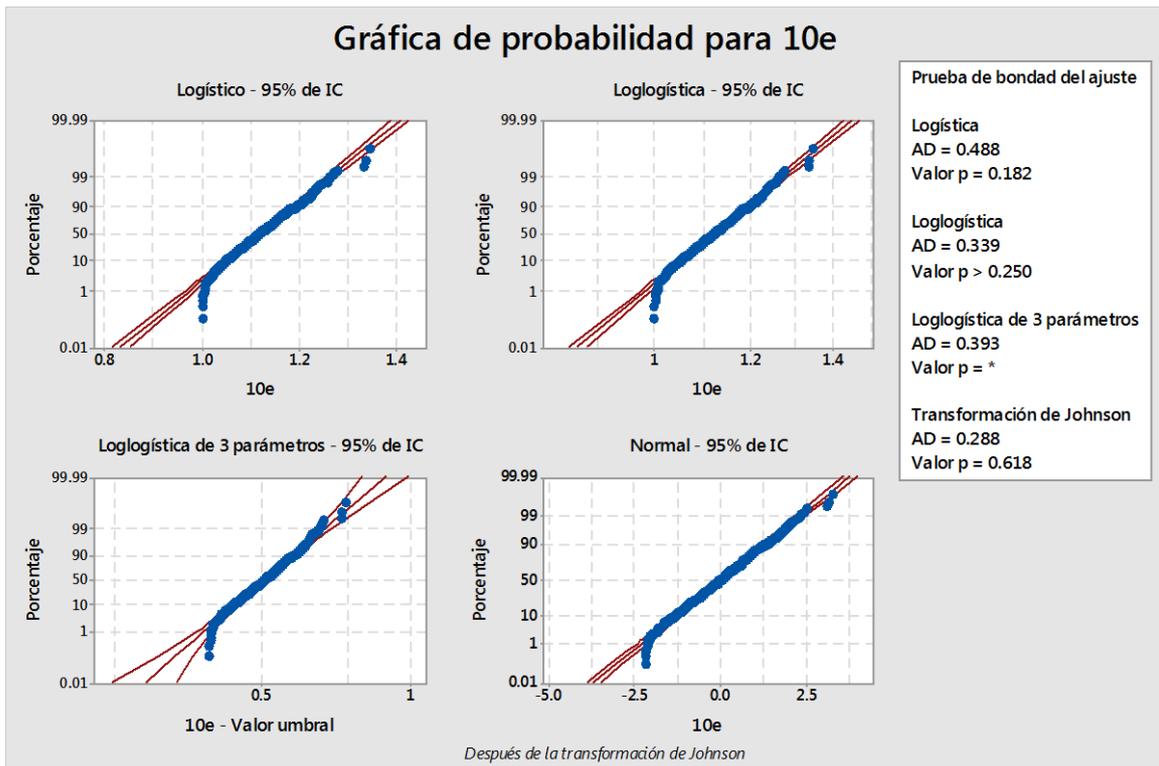


Figura 92. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 10  
Fuente: Elaboración propia

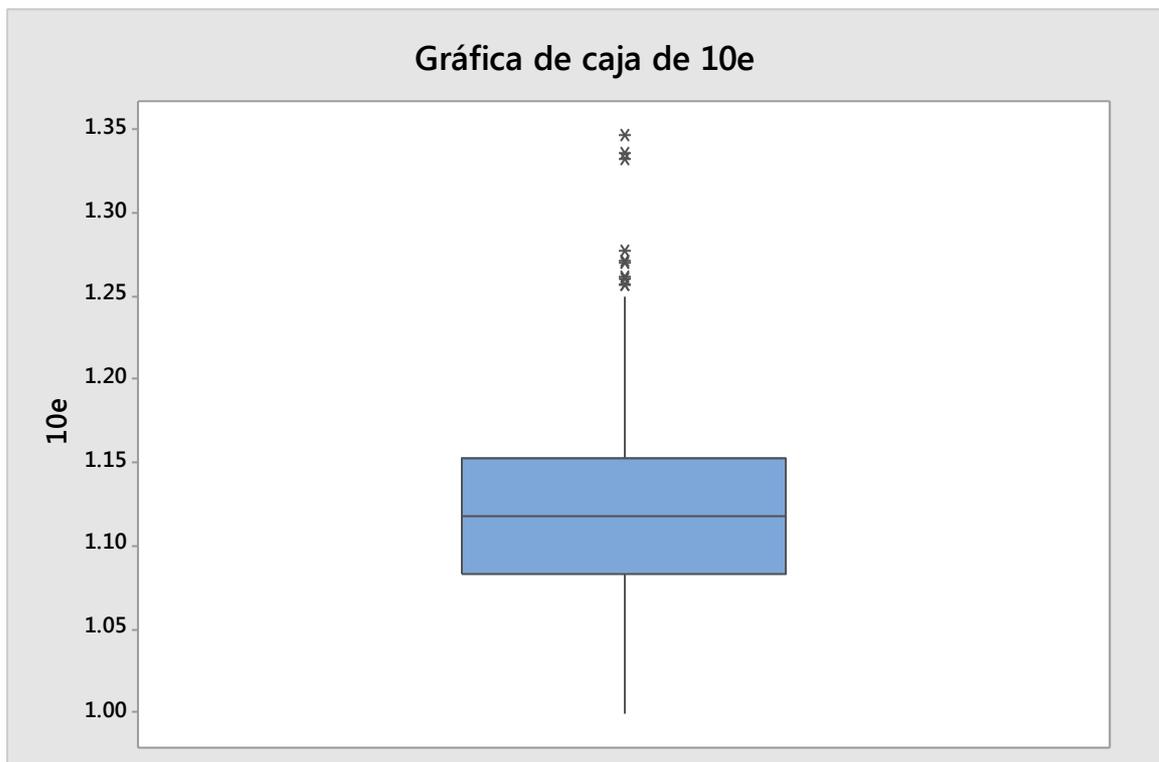


Figura 93. Gráfico de caja de la semana 10  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
665	28	1.12009	0.0554746	1.11811	1	1.34610	0.396449	0.615811

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499

1

Límite de control inferior

0.9986500

1.34610

Límite de control superior

Línea central 1.12009

### Estandarización semana 11

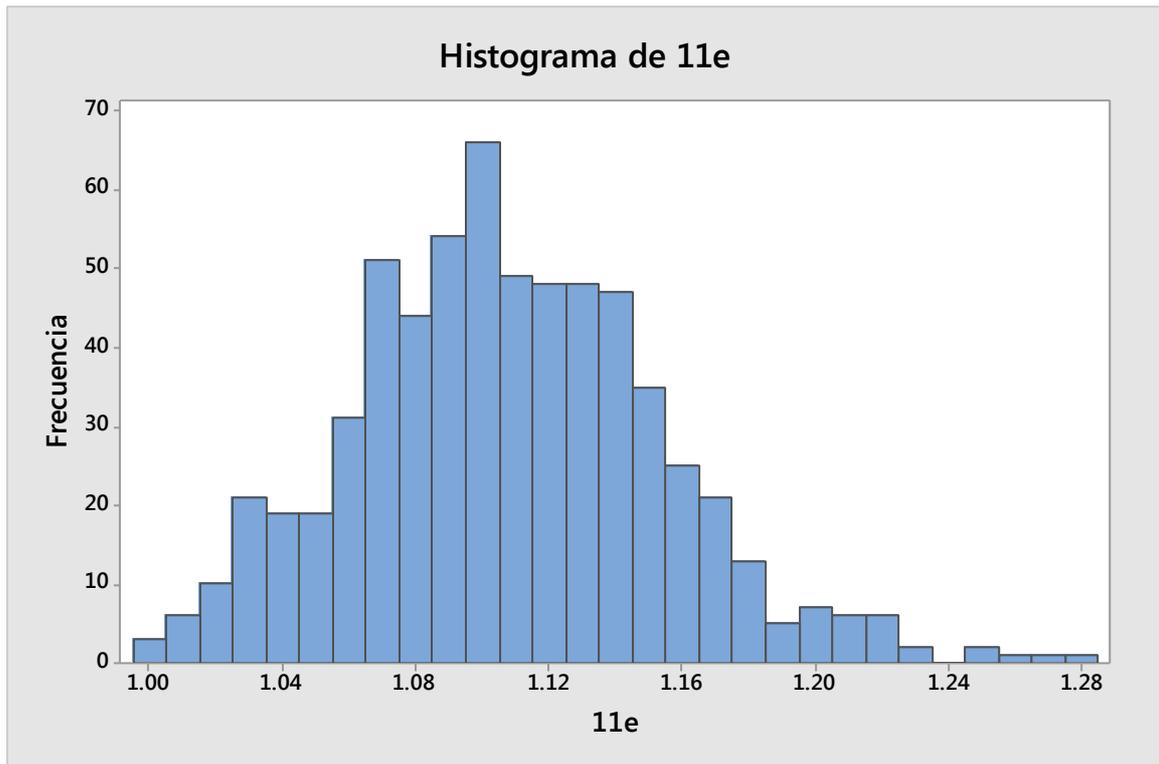


Figura 94. Histograma de la semana 11 estandarizada

Fuente: Elaboración propia

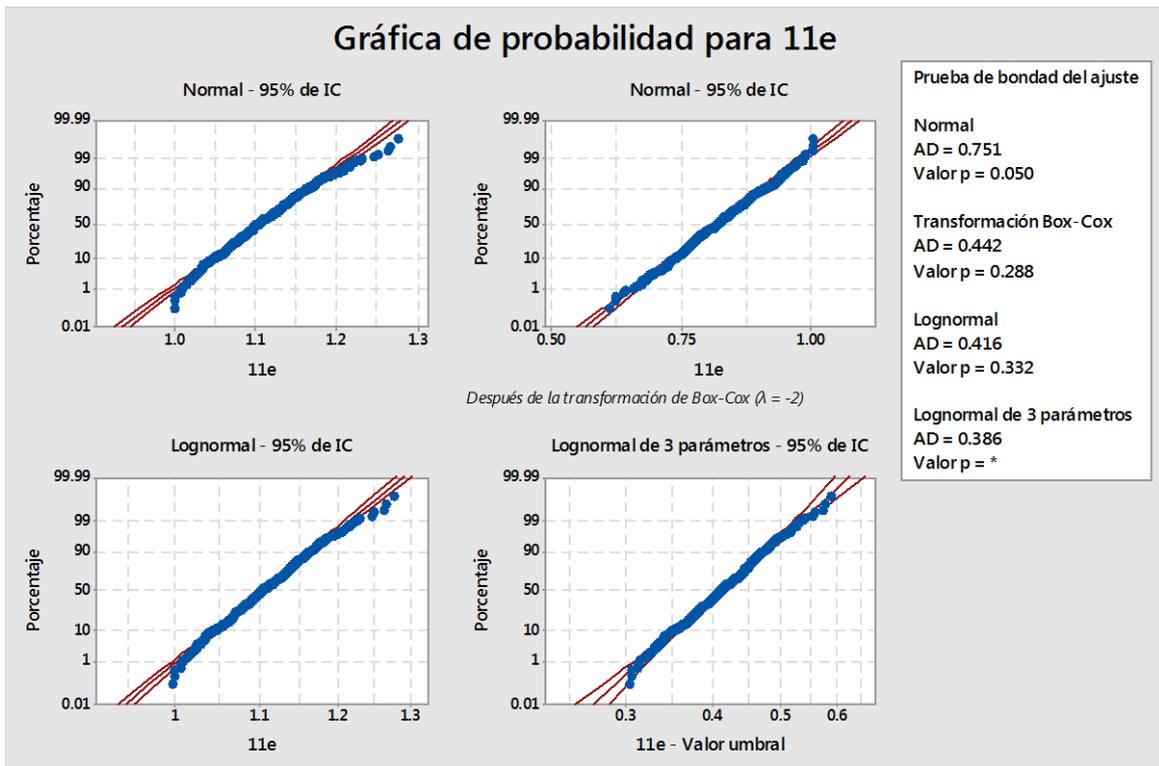


Figura 95. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 11  
Fuente: Elaboración propia

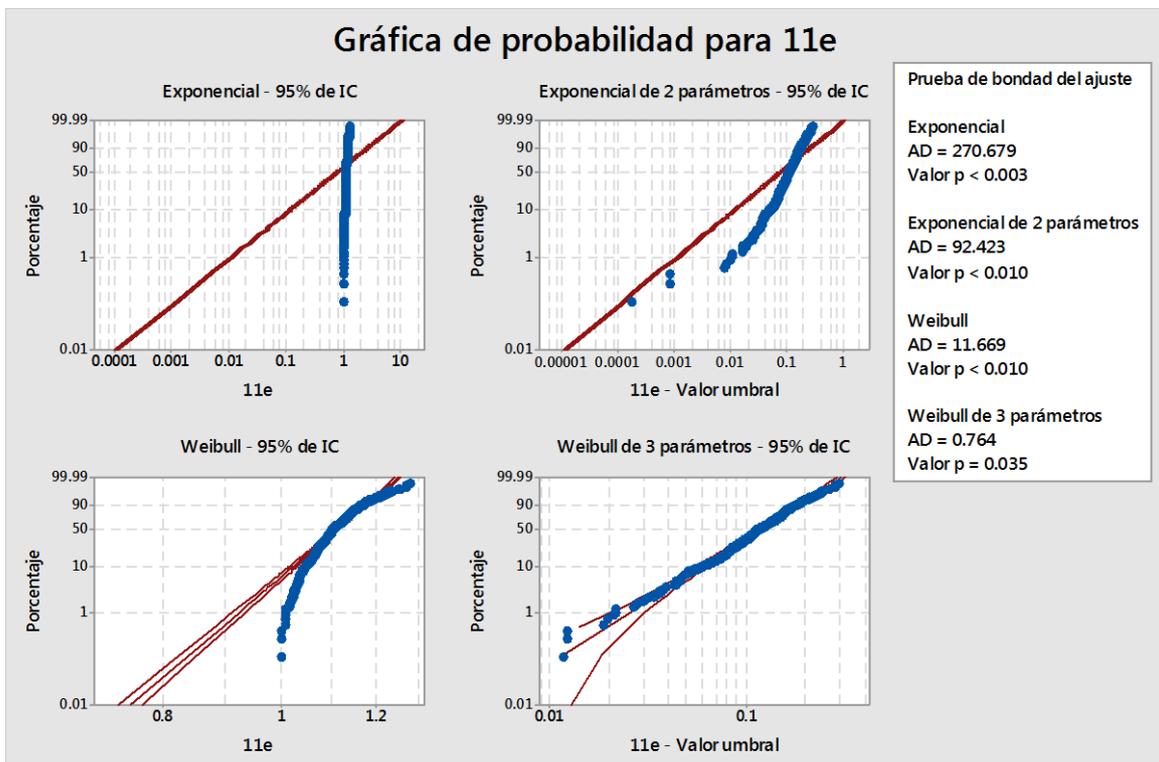


Figura 96. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 11  
Fuente: Elaboración propia

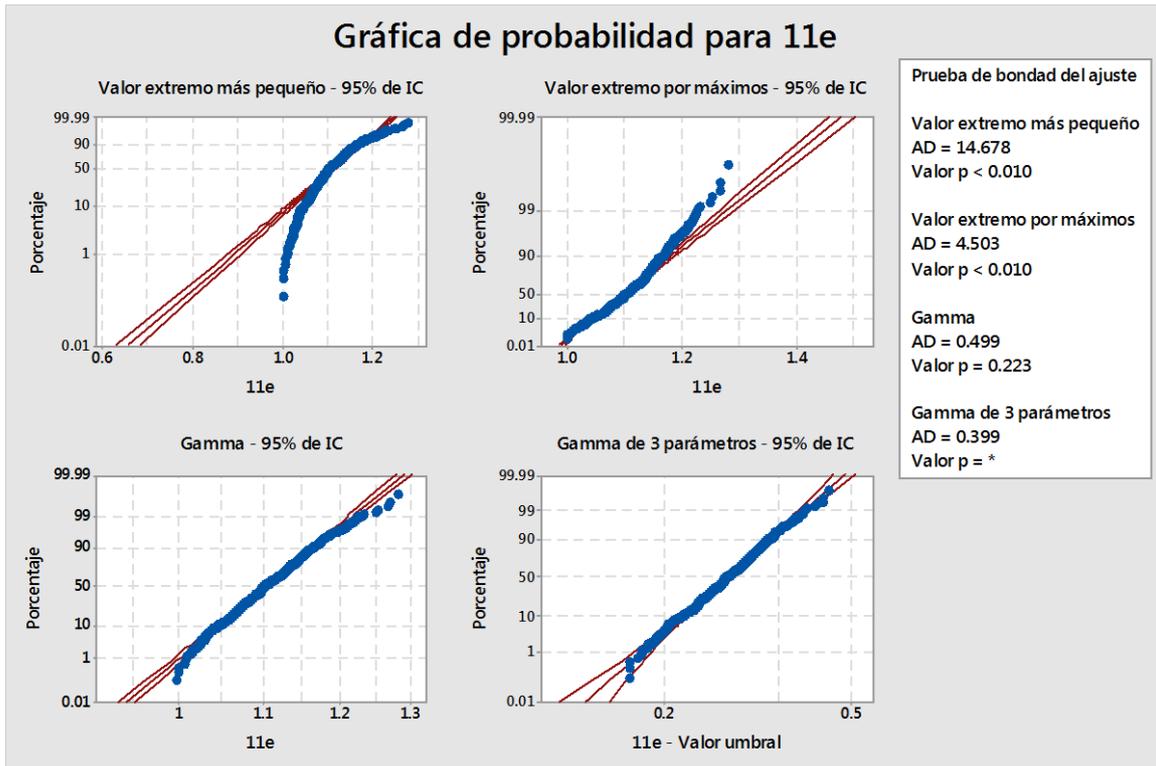


Figura 97. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 11  
Fuente: Elaboración propia

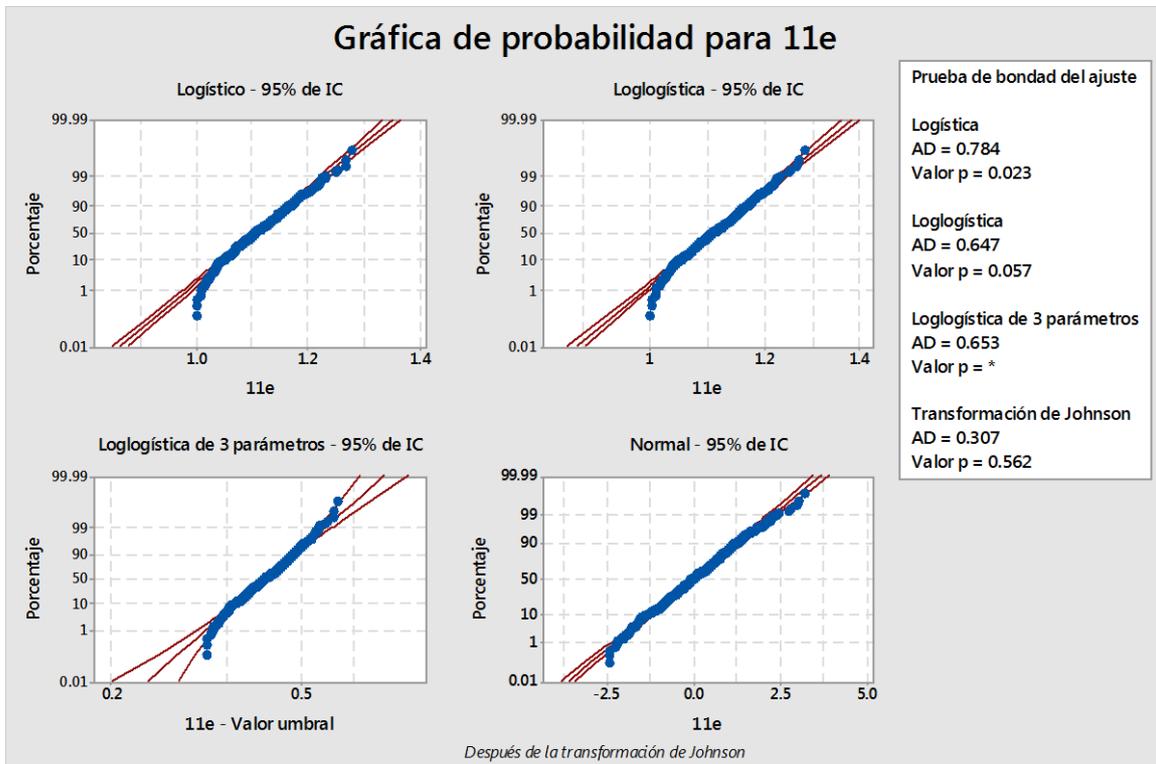


Figura 98. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 11  
Fuente: Elaboración propia

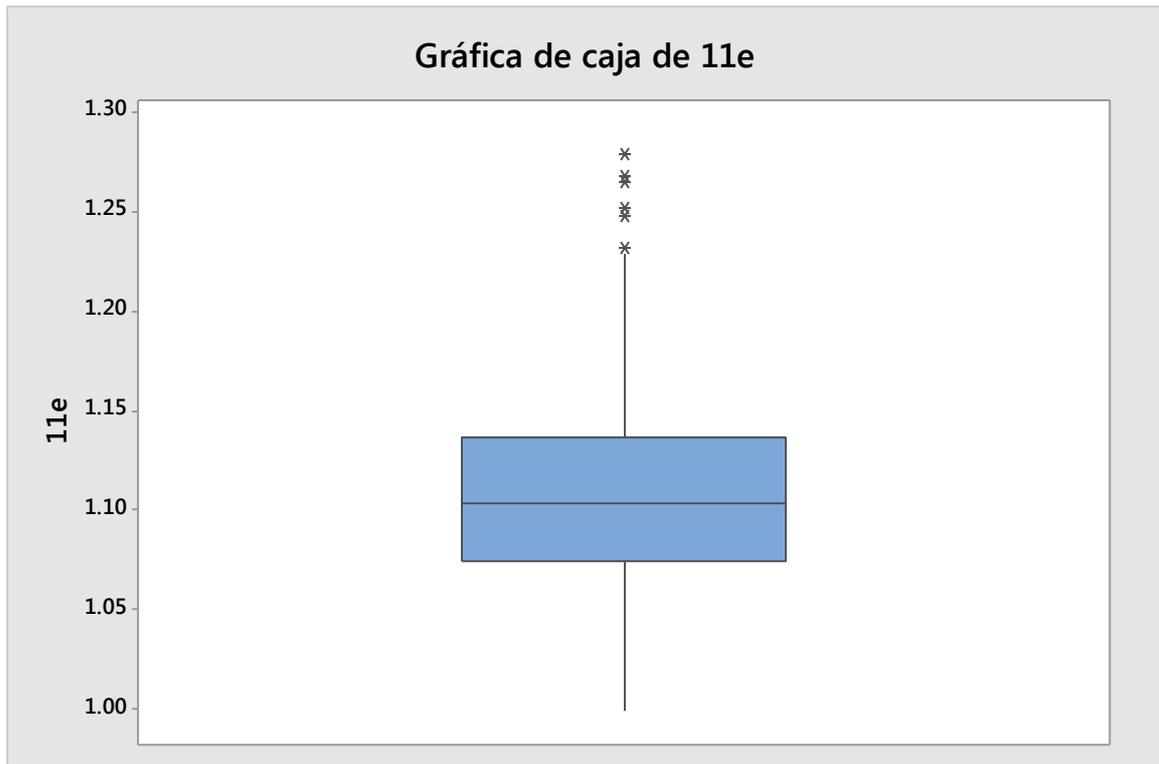


Figura 99. Gráfico de caja de la semana 11

Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
641	51	1.10726	0.0465639	1.10365	0.999369	1.27866	0.349138	0.336866

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.99937

Límite de control inferior

0.9986500                      1.27866

Límite de control superior

Línea central 1.10726

Estandarización semana 12

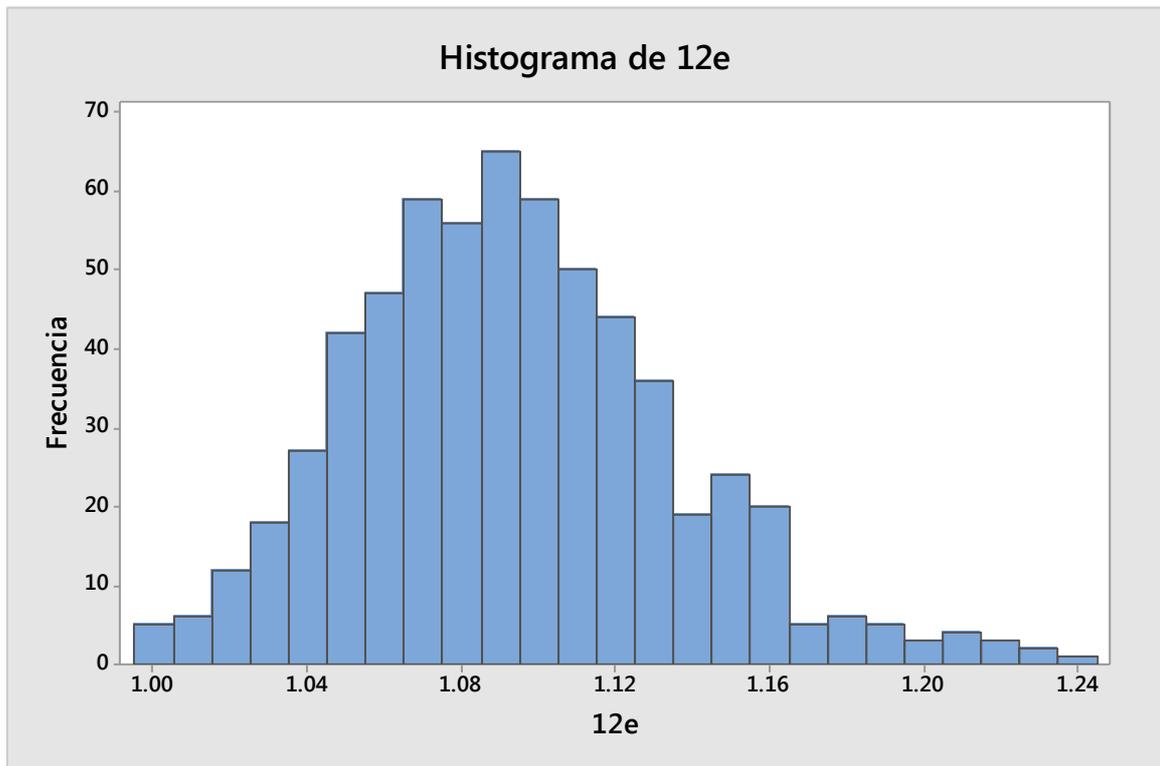


Figura 100. Histograma de la semana 12 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

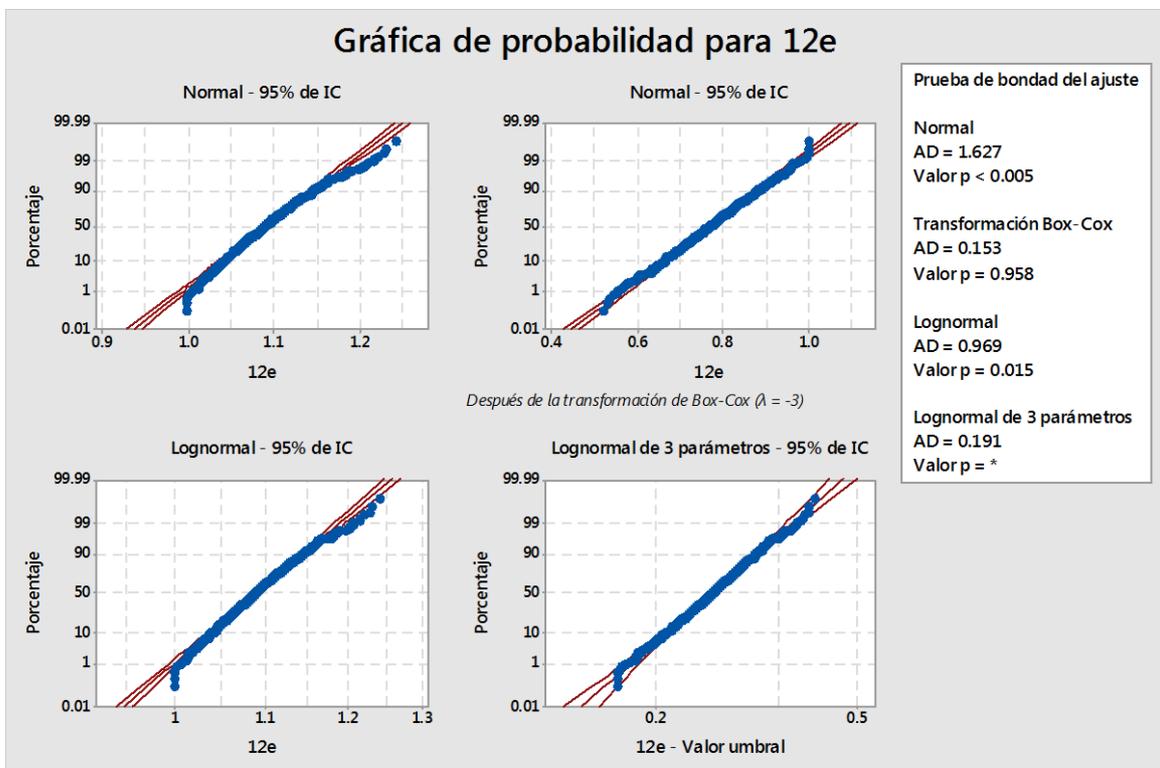


Figura 101. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 12  
Fuente: Elaboración propia

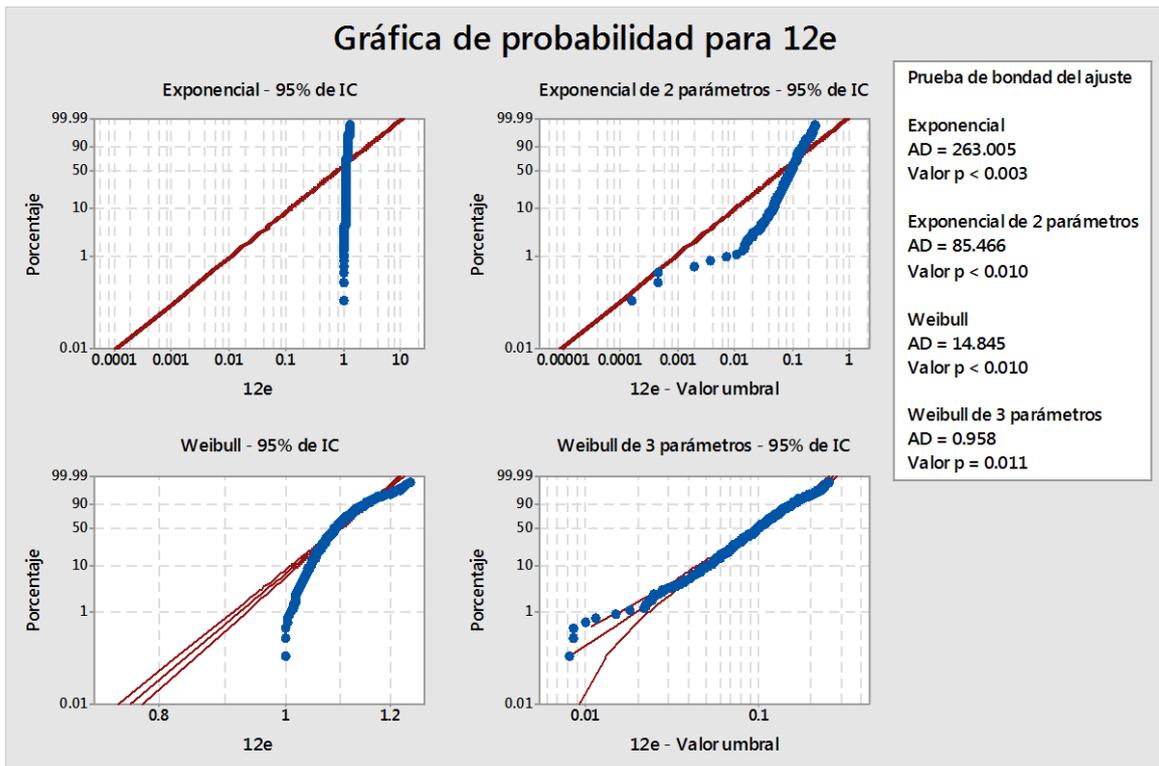


Figura 102. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 12  
Fuente: Elaboración propia

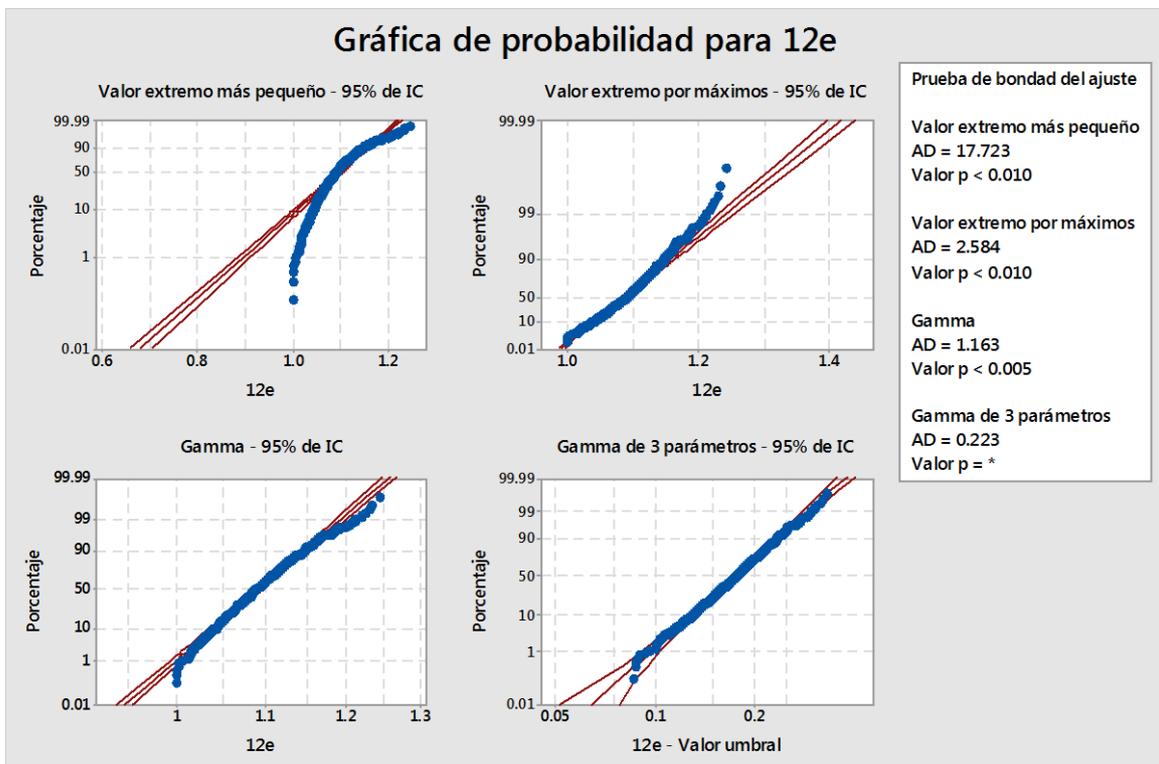


Figura 103. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 12  
Fuente: Elaboración propia

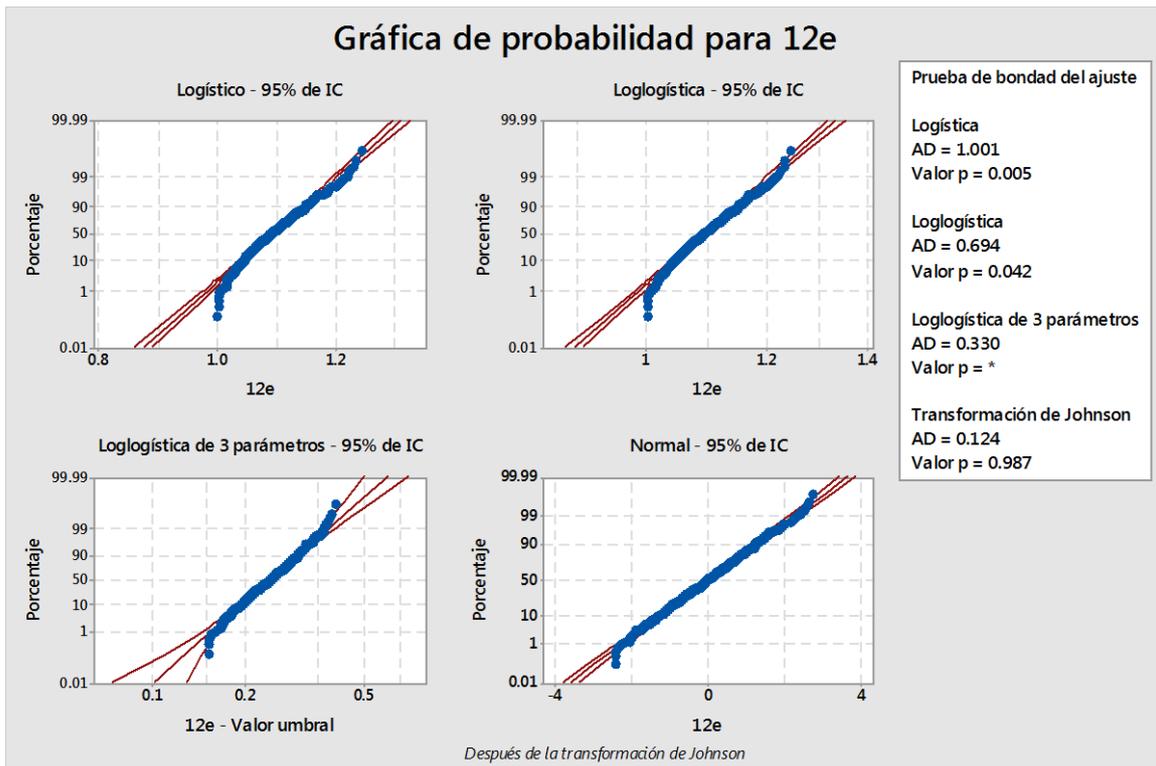


Figura 104. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 12  
Fuente: Elaboración propia

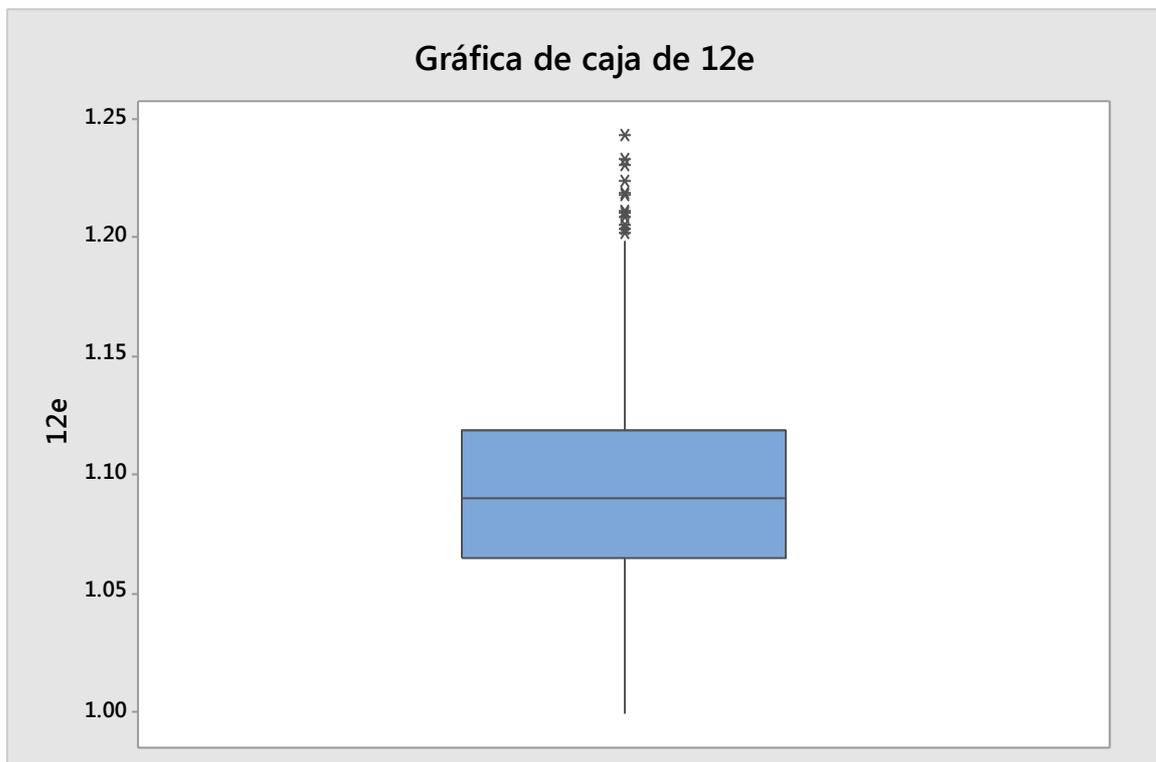


Figura 105. Gráfico de caja de la semana 12  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
618	74	1.09367	0.0419827	1.09012	0.999712	1.24288	0.494044	0.451162

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.99971

Límite de control inferior

0.9986500                      1.24288

Límite de control superior

Línea central 1.09367

### Estandarización semana 13

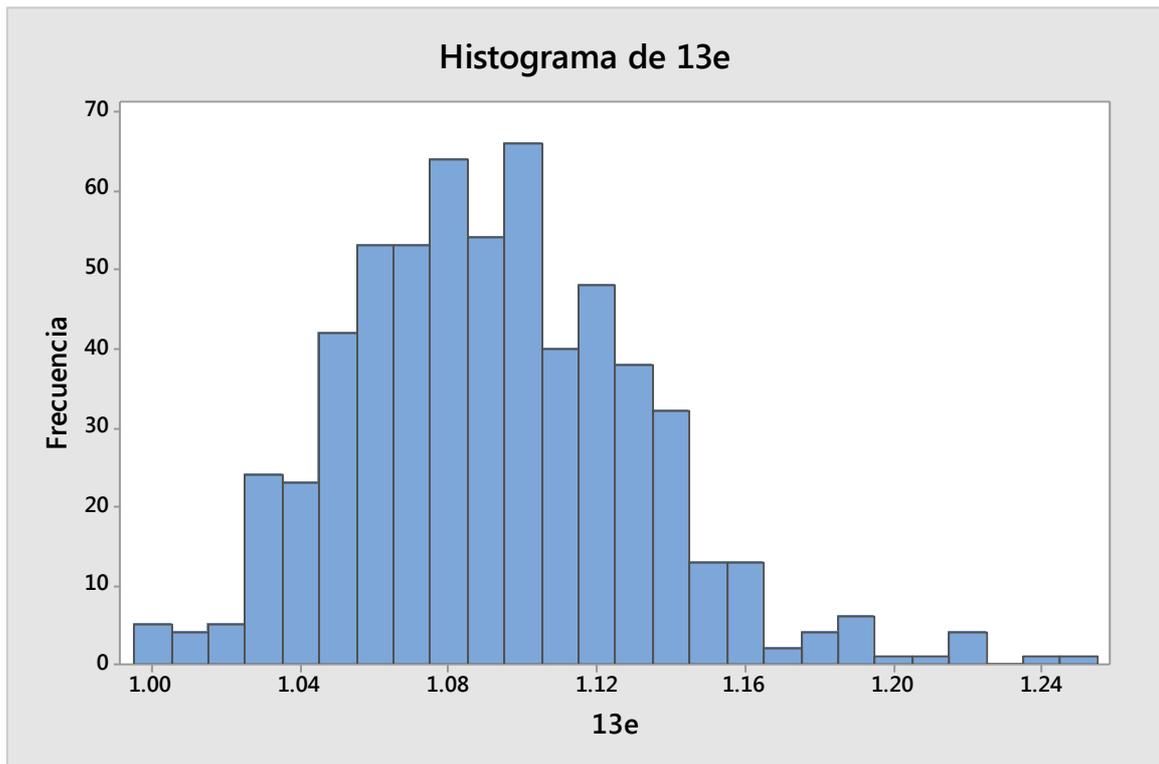


Figura 106. Histograma de la semana 13 estandarizada

Fuente: Elaboración propia

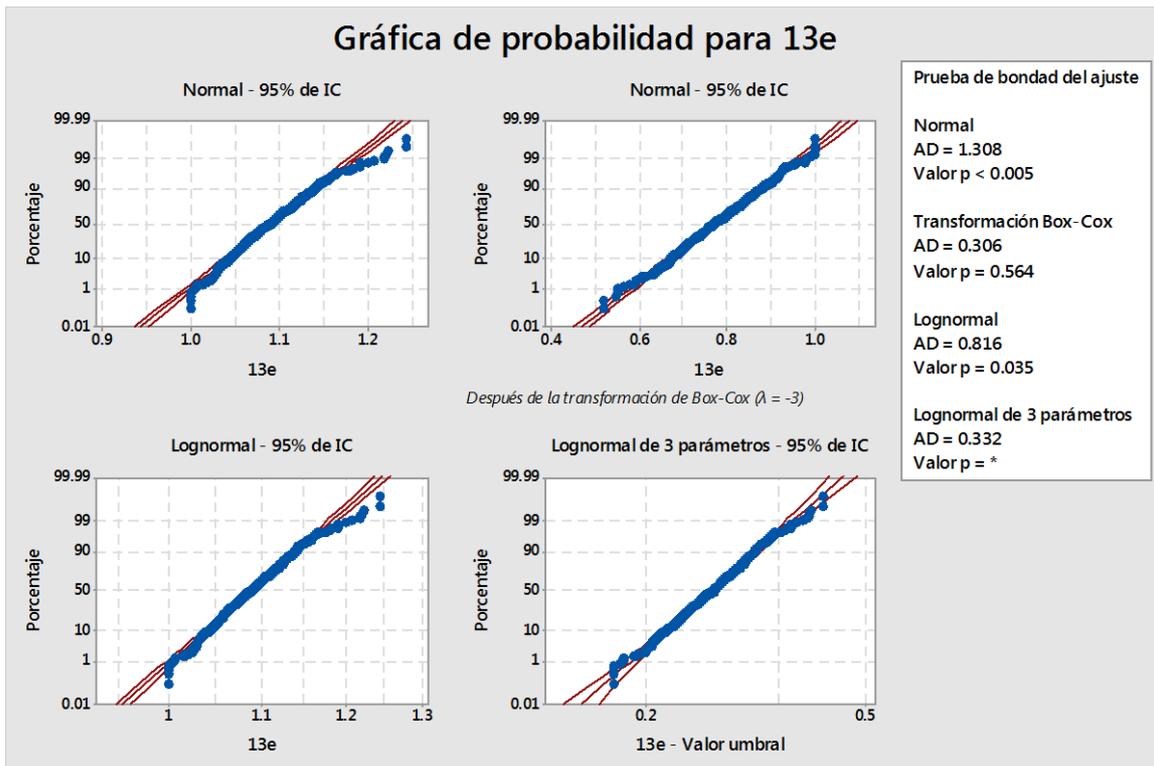


Figura 107. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 13  
Fuente: Elaboración propia

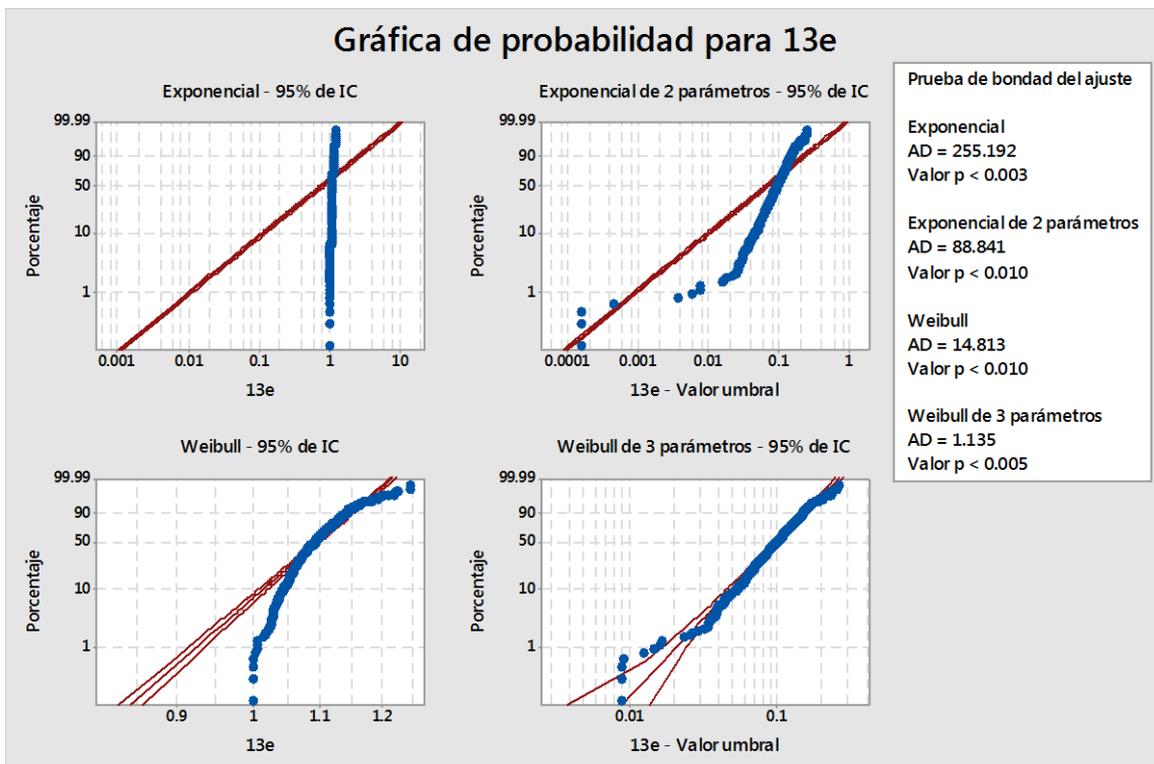


Figura 108. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 13  
Fuente: Elaboración propia

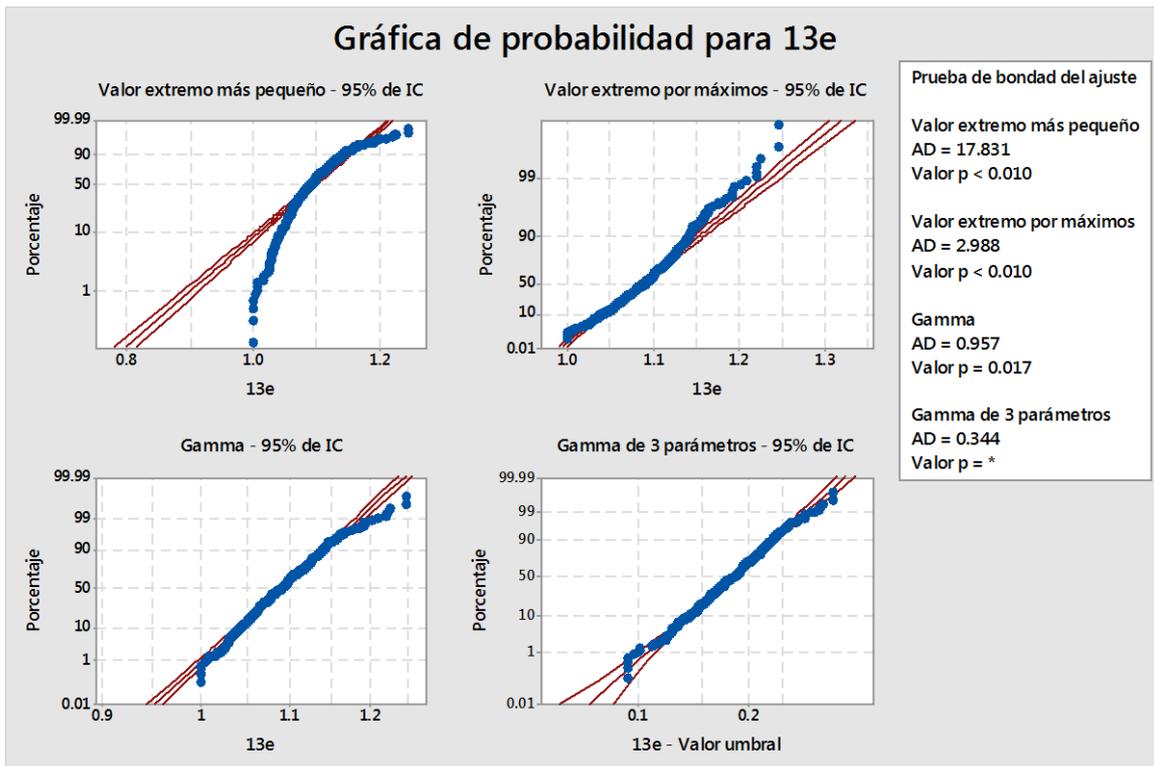


Figura 109. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 13  
Fuente: Elaboración propia

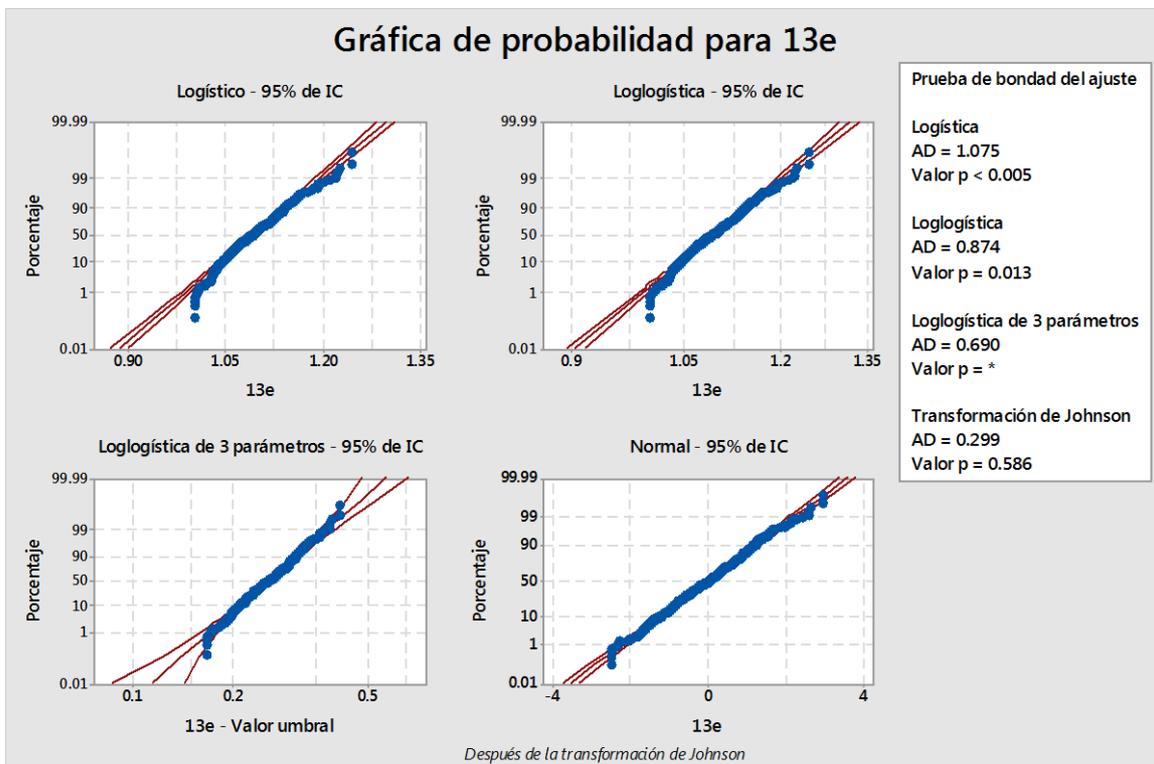


Figura 110. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 13  
Fuente: Elaboración propia

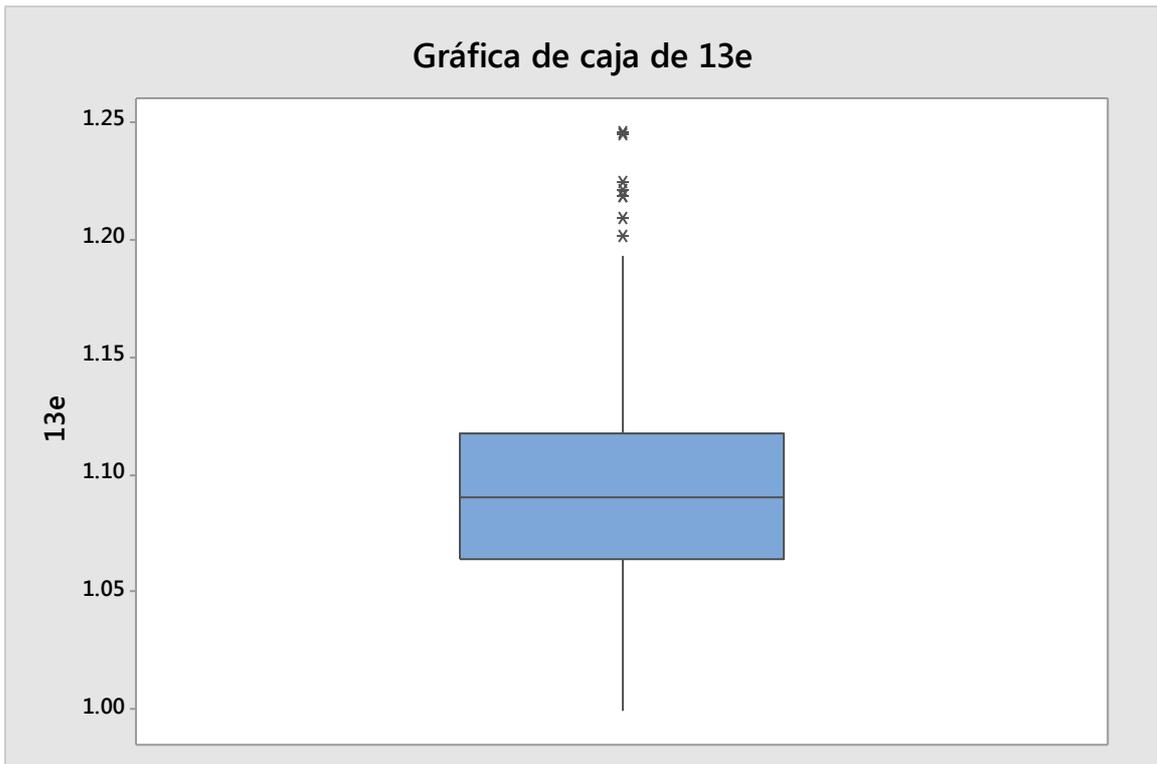


Figura 111. Gráfico de caja de la semana 13

Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
597	95	1.09215	0.0395908	1.09082	1	1.24523	0.510245	0.760715

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                              1                              Límite de control inferior

0.9986500                              1.24523                              Límite de control superior

Línea central 1.09215

## Estandarización semana 14

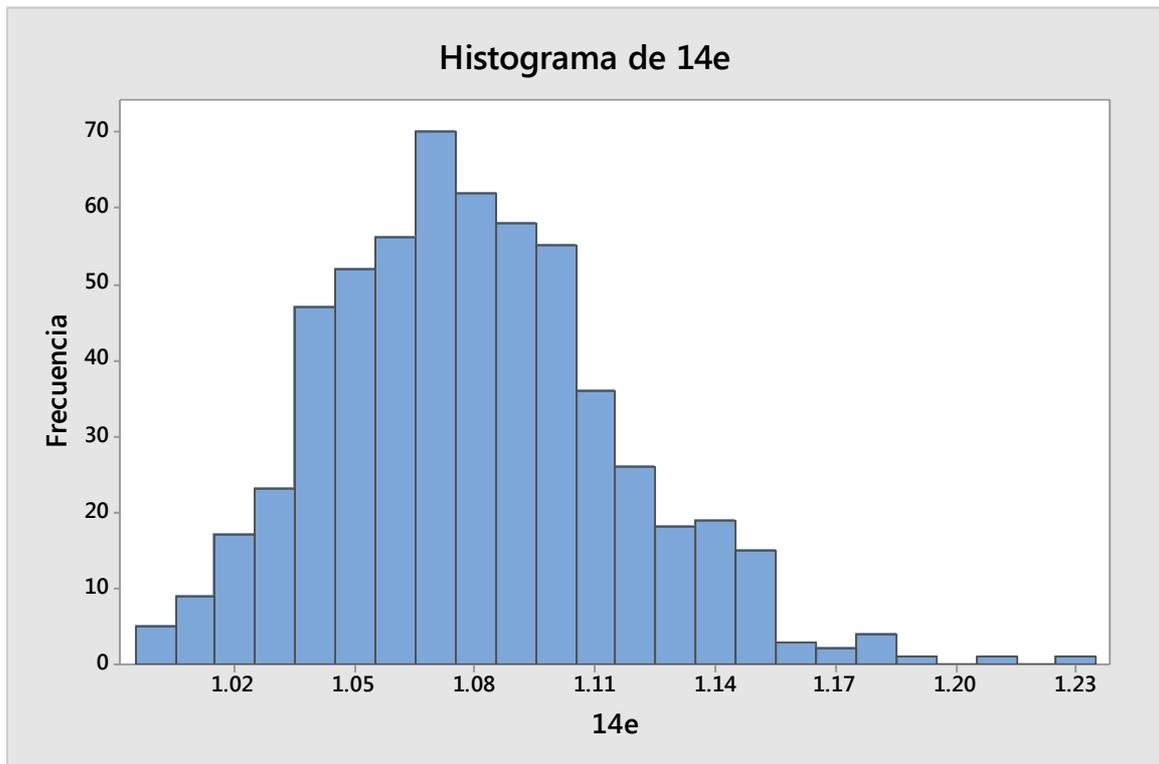


Figura 112. Histograma de la semana 14 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

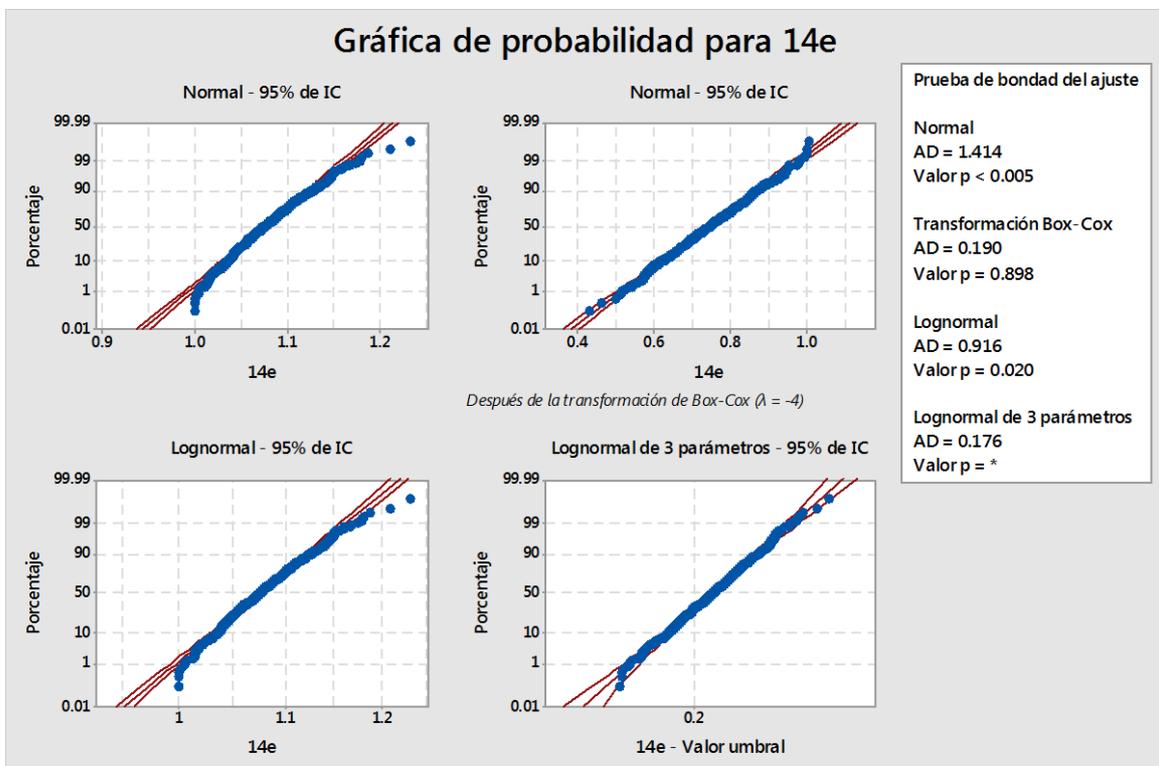


Figura 113. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 14  
Fuente: Elaboración propia

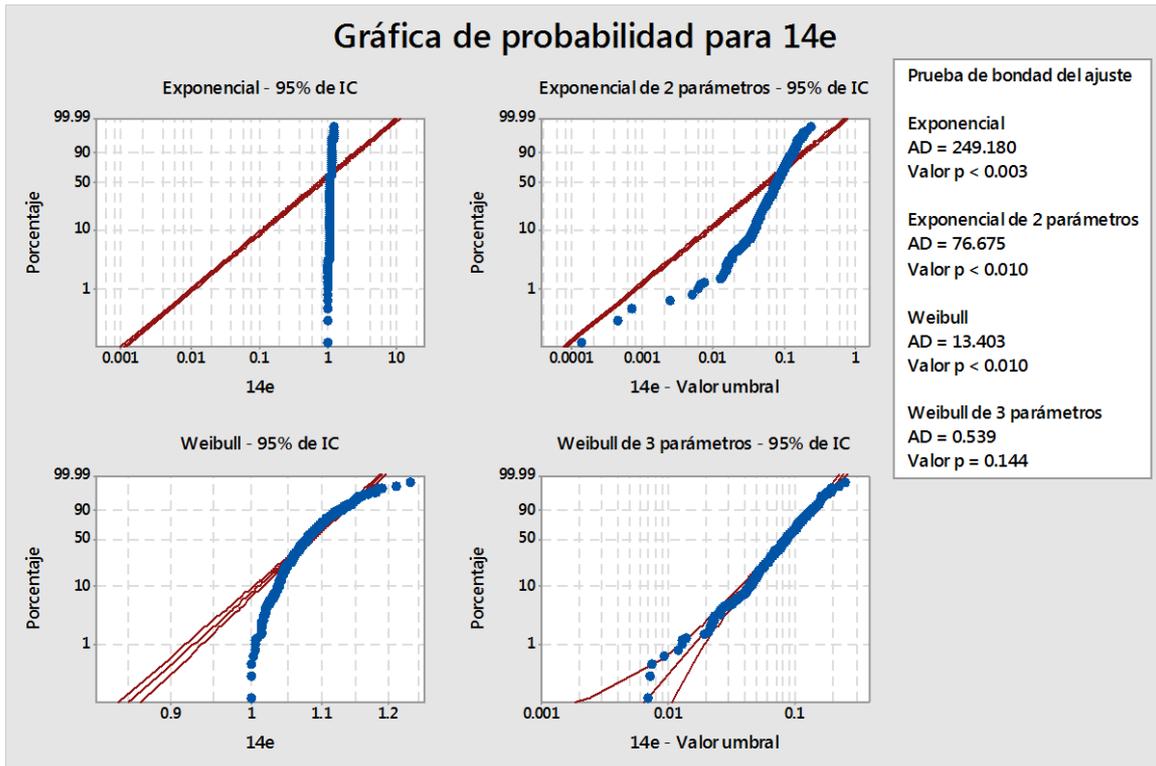


Figura 114. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 14  
Fuente: Elaboración propia

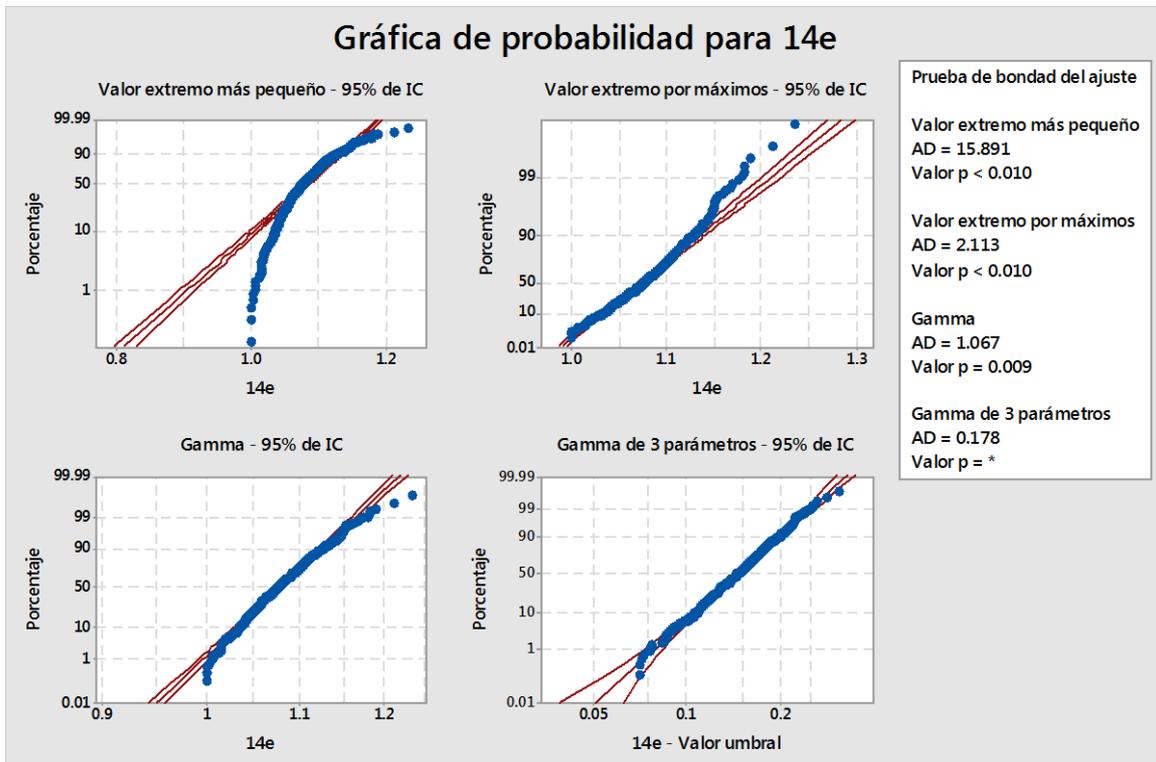


Figura 115. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 14  
Fuente: Elaboración propia

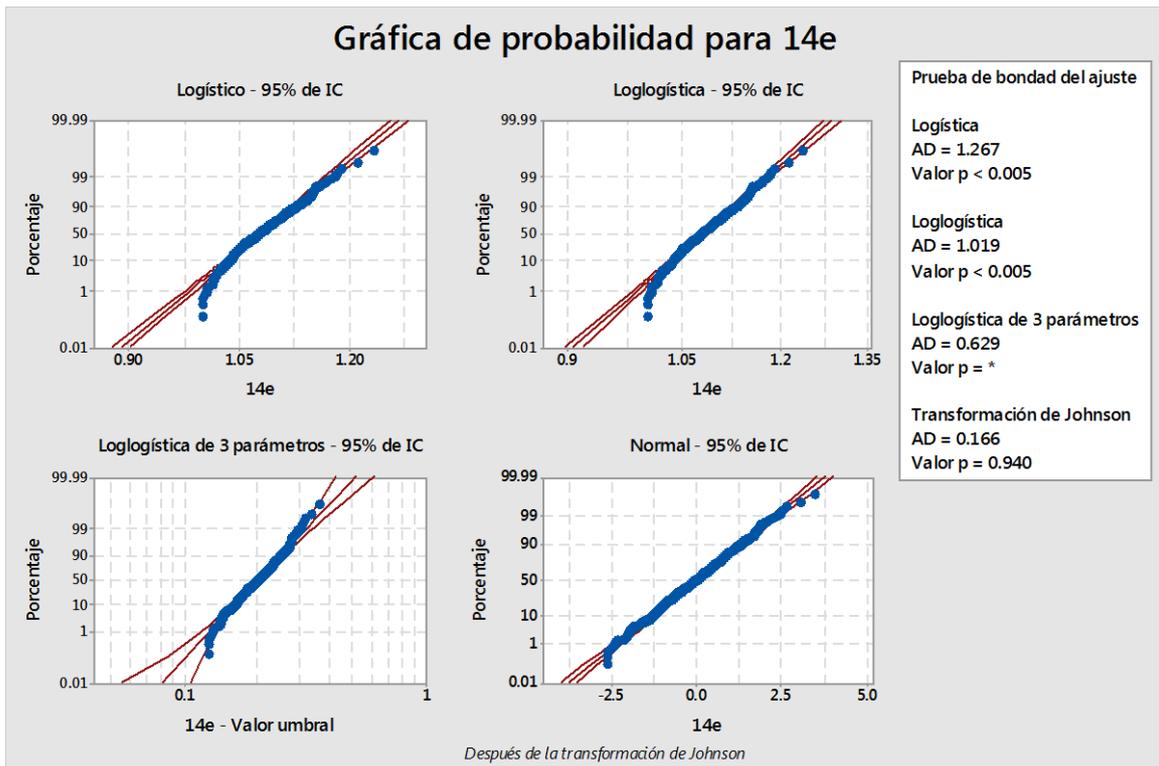


Figura 116. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 14  
Fuente: Elaboración propia

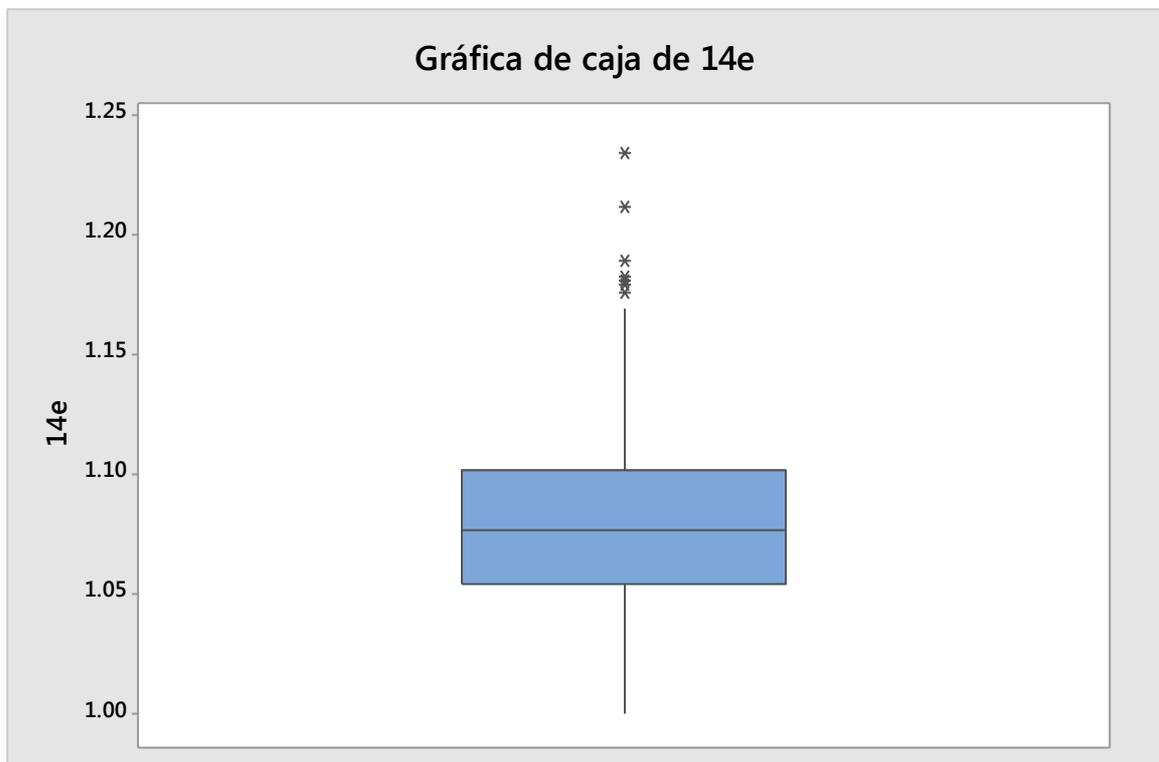


Figura 117. Gráfico de caja de la semana 14  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
580	112	1.07933	0.0361359	1.07677	1	1.23369	0.485120	0.466612

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499

1

Límite de control inferior

0.9986500

1.23369

Límite de control superior

Línea central 1.07933

Estandarización semana 15

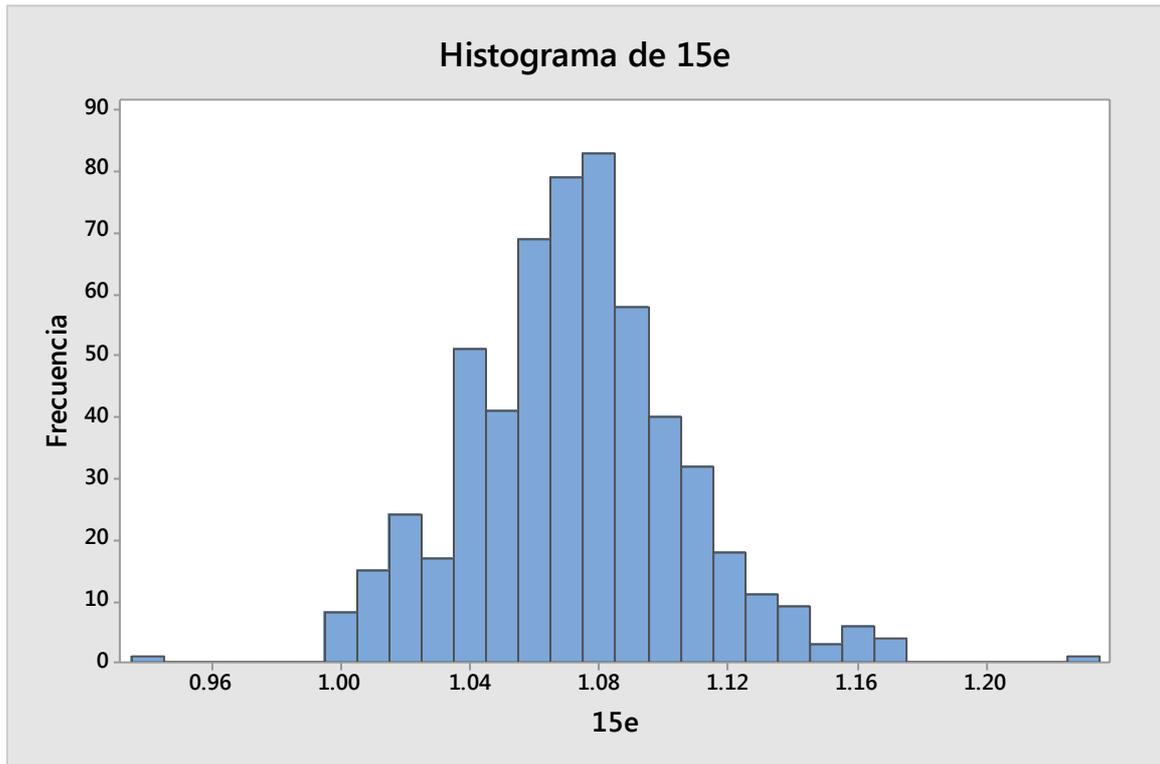


Figura 118. Histograma de la semana 15 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

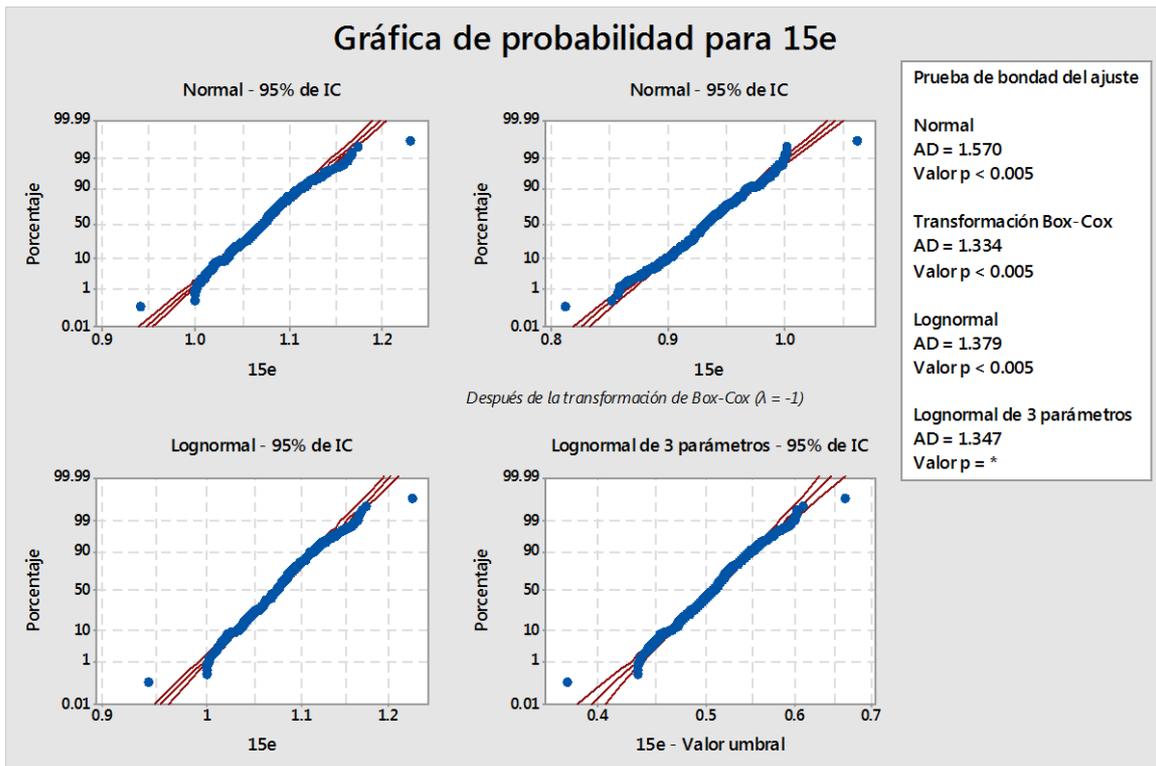


Figura 119. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 15  
Fuente: Elaboración propia

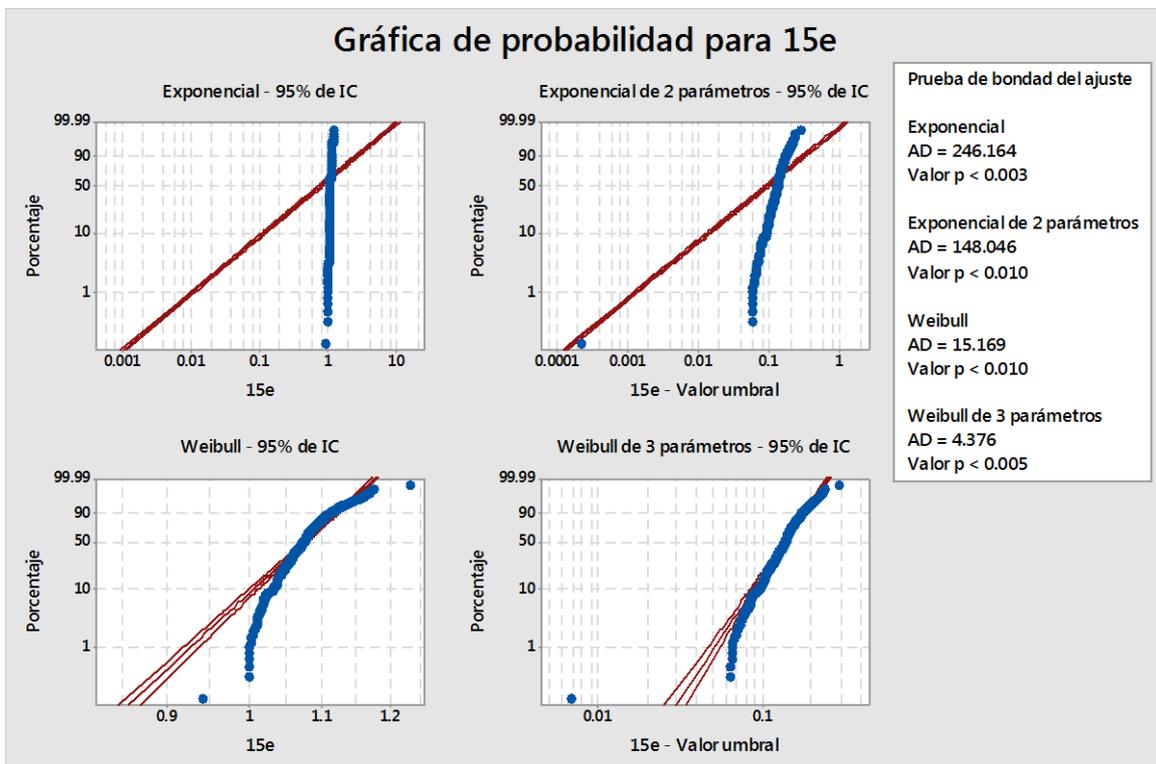


Figura 120. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 15  
Fuente: Elaboración propia

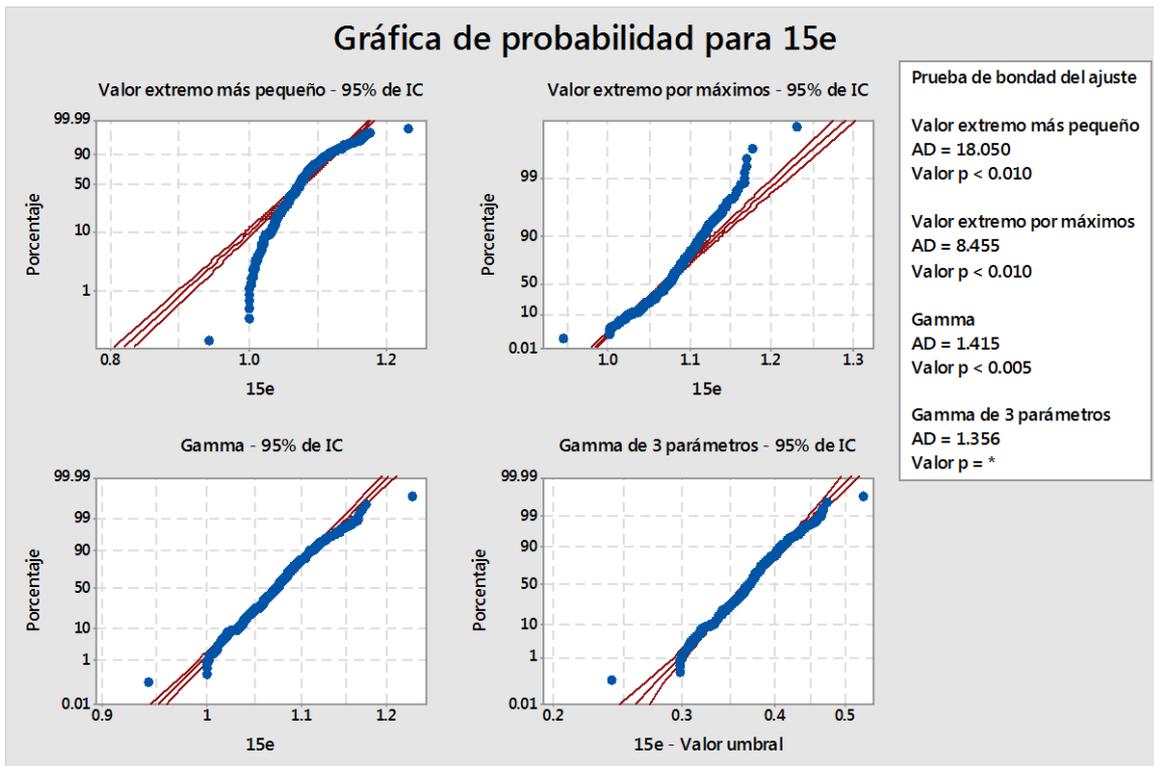


Figura 121. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 15  
Fuente: Elaboración propia

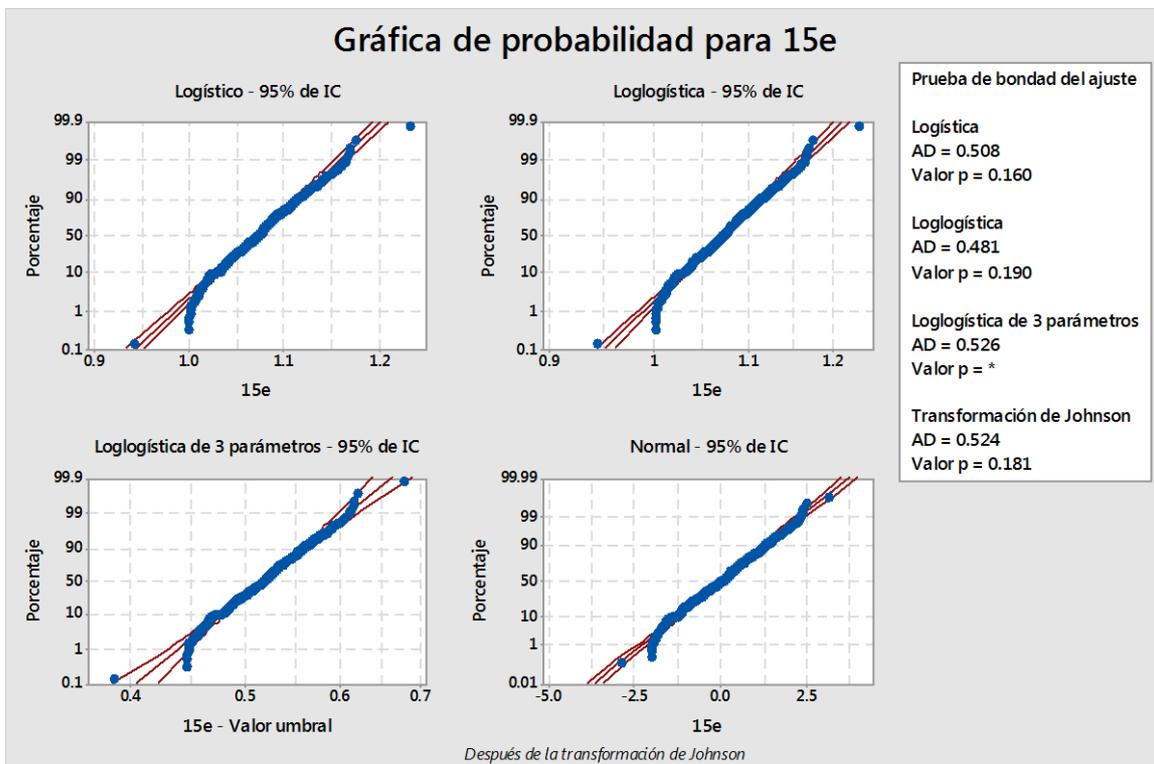


Figura 122. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 15  
Fuente: Elaboración propia

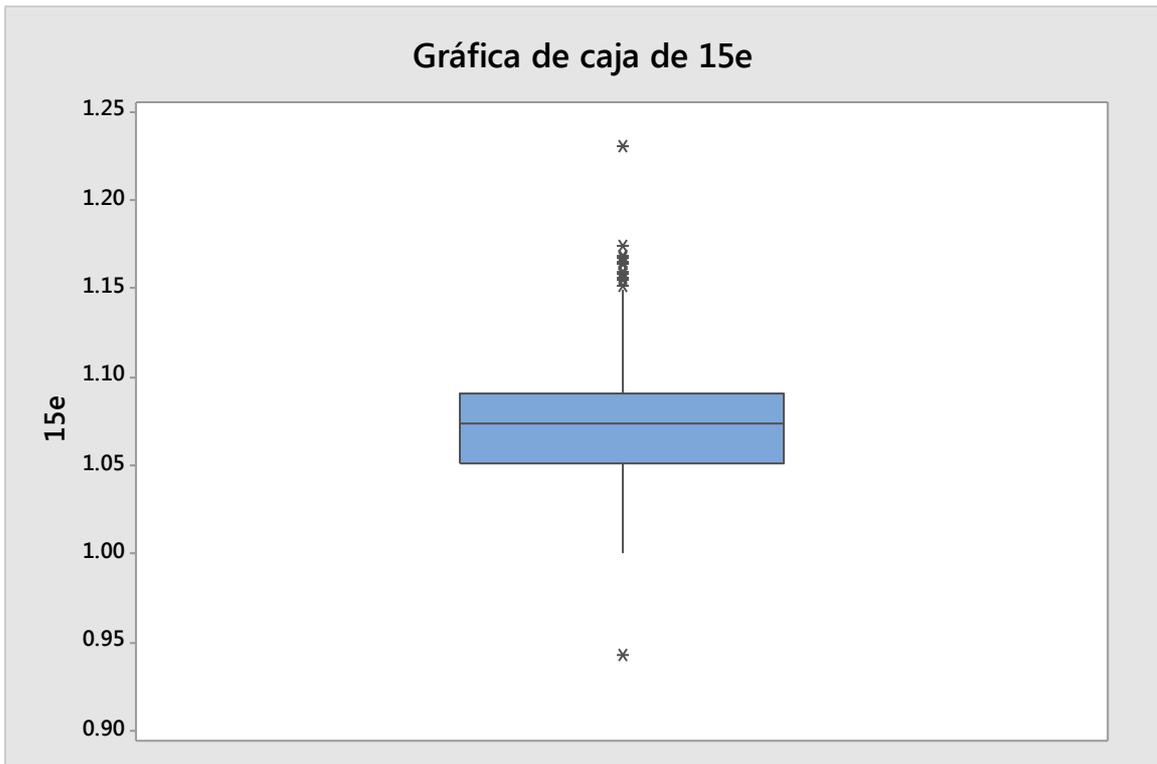


Figura 123. Gráfico de caja de la semana 15

Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
570	122	1.07257	0.0335471	1.07333	0.942408	1.23060	0.314722	1.14708

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.94241

Límite de control inferior

0.9986500                      1.23060

Límite de control superior

Línea central 1.07257

Estandarización semana 16

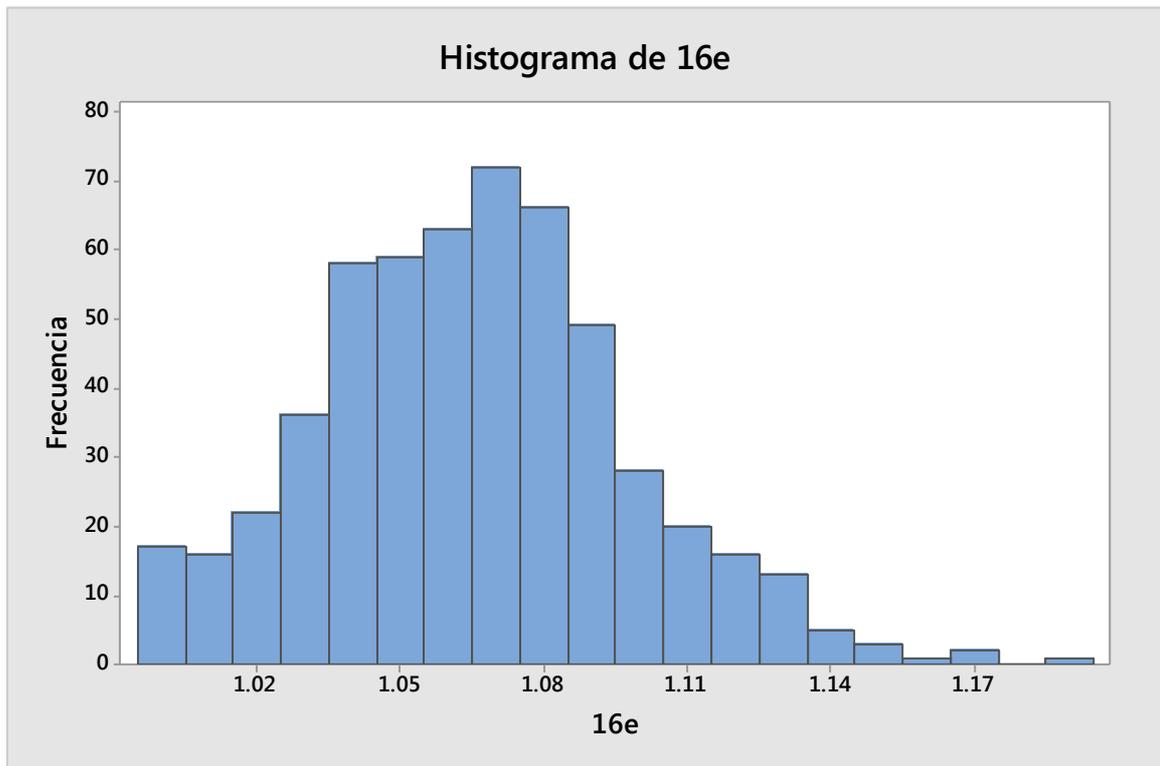


Figura 124. Histograma de la semana 16 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

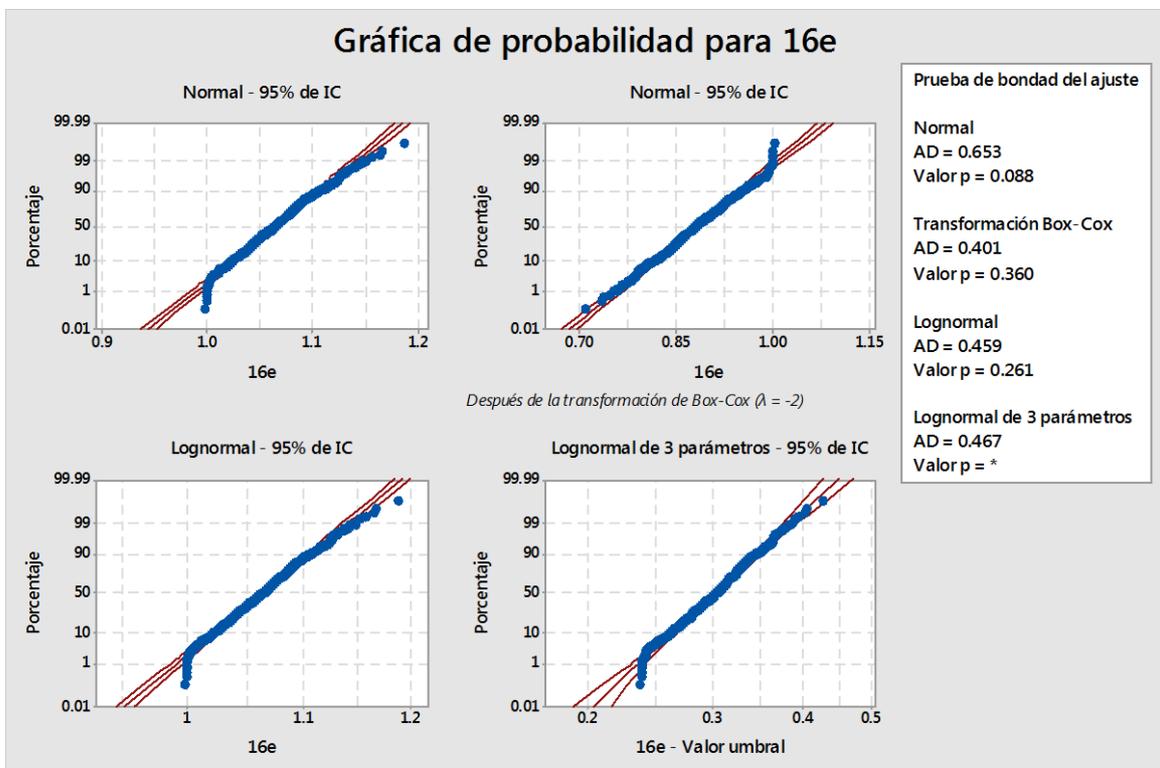


Figura 125. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 16  
Fuente: Elaboración propia

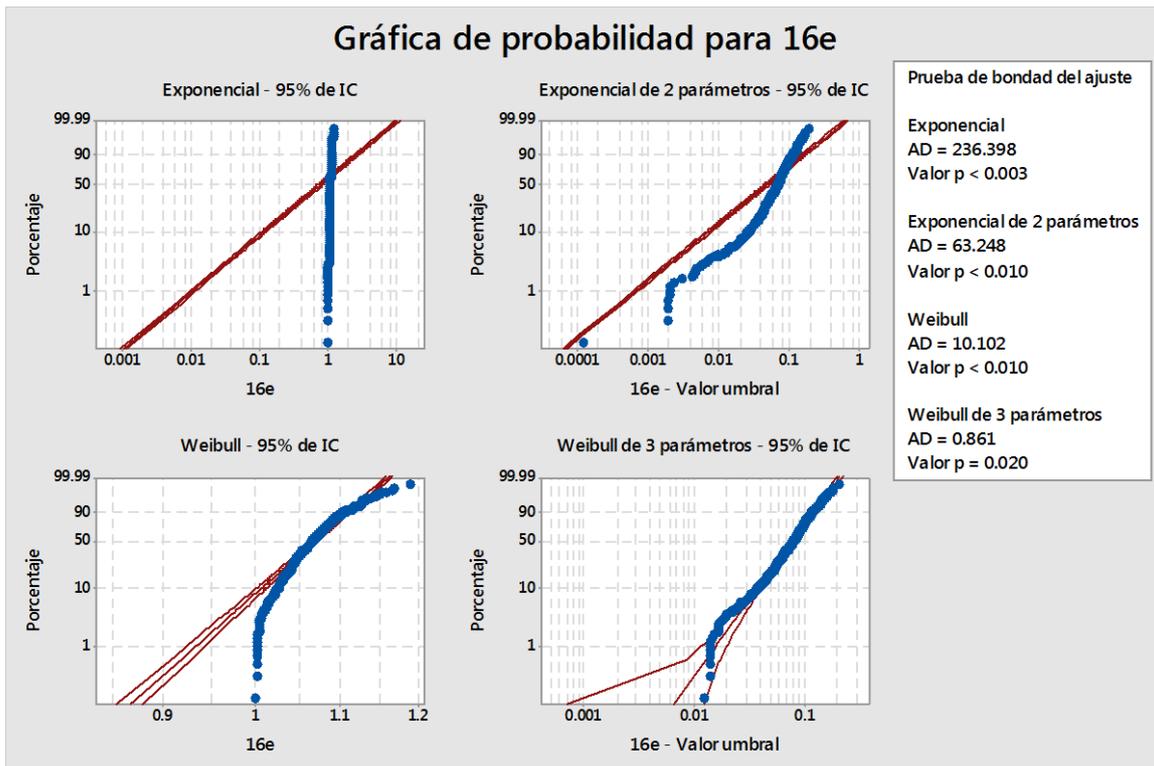


Figura 126. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 16  
Fuente: Elaboración propia

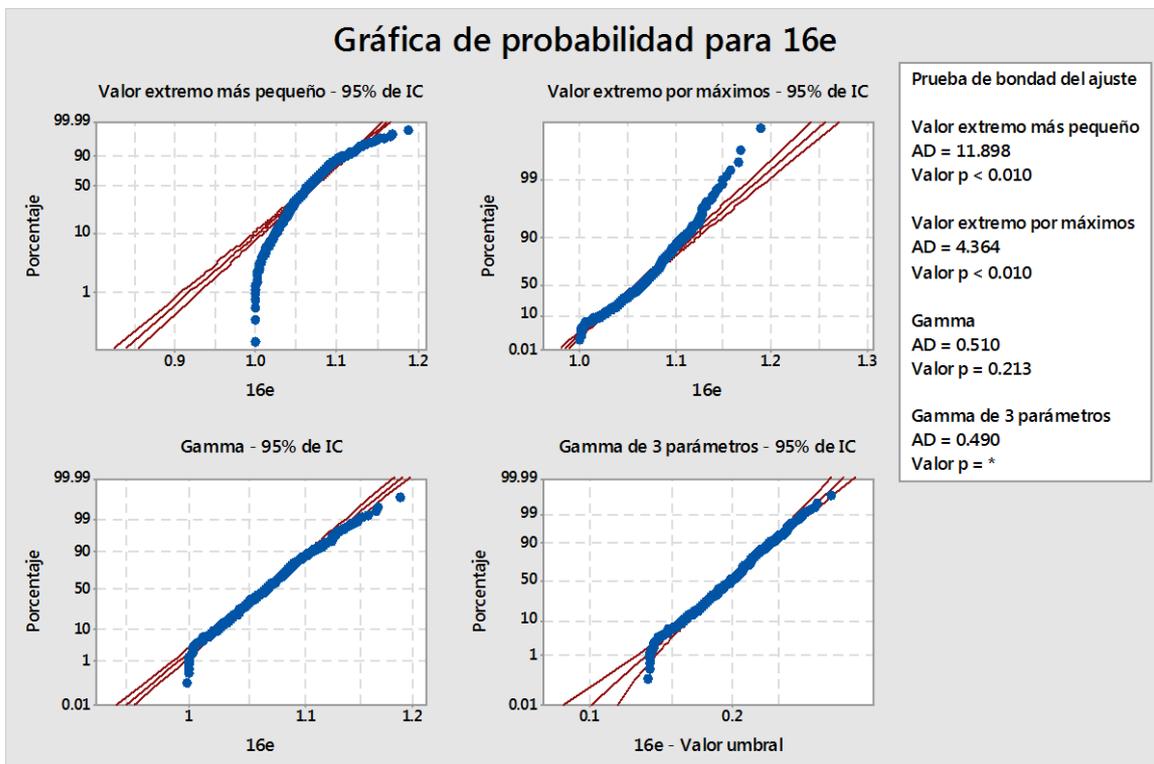


Figura 127. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 16  
Fuente: Elaboración propia

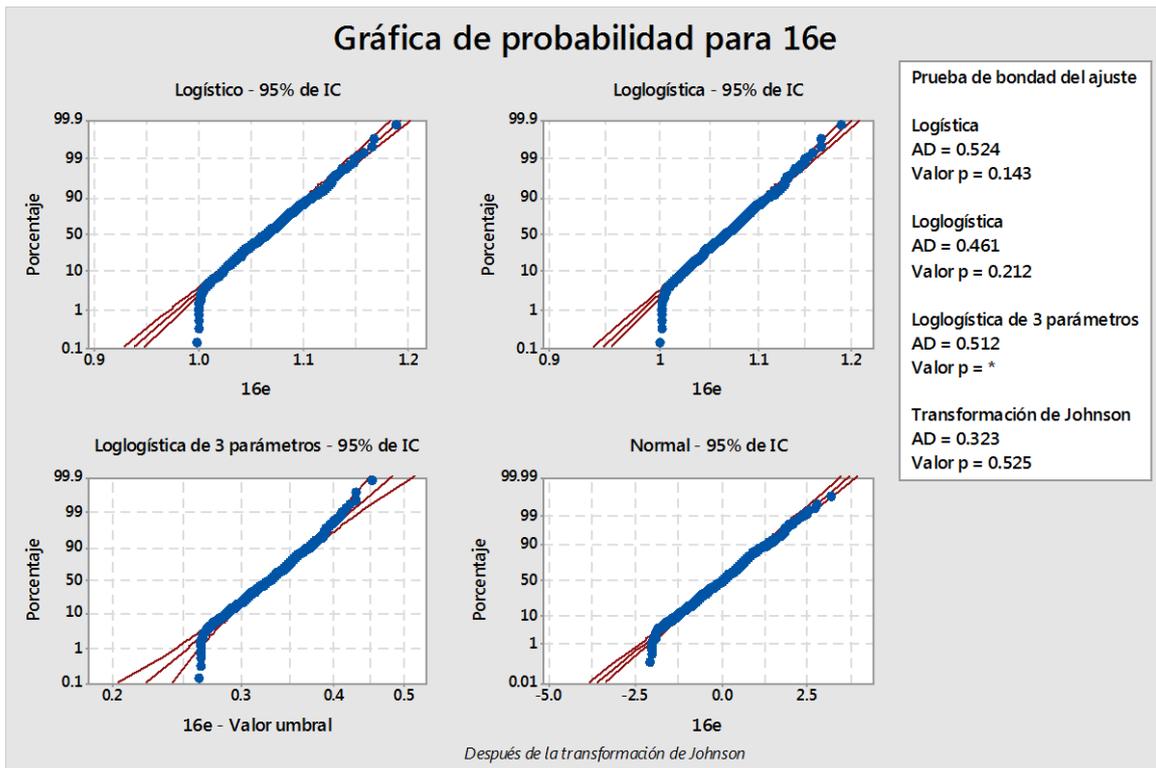


Figura 128. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 16  
Fuente: Elaboración propia

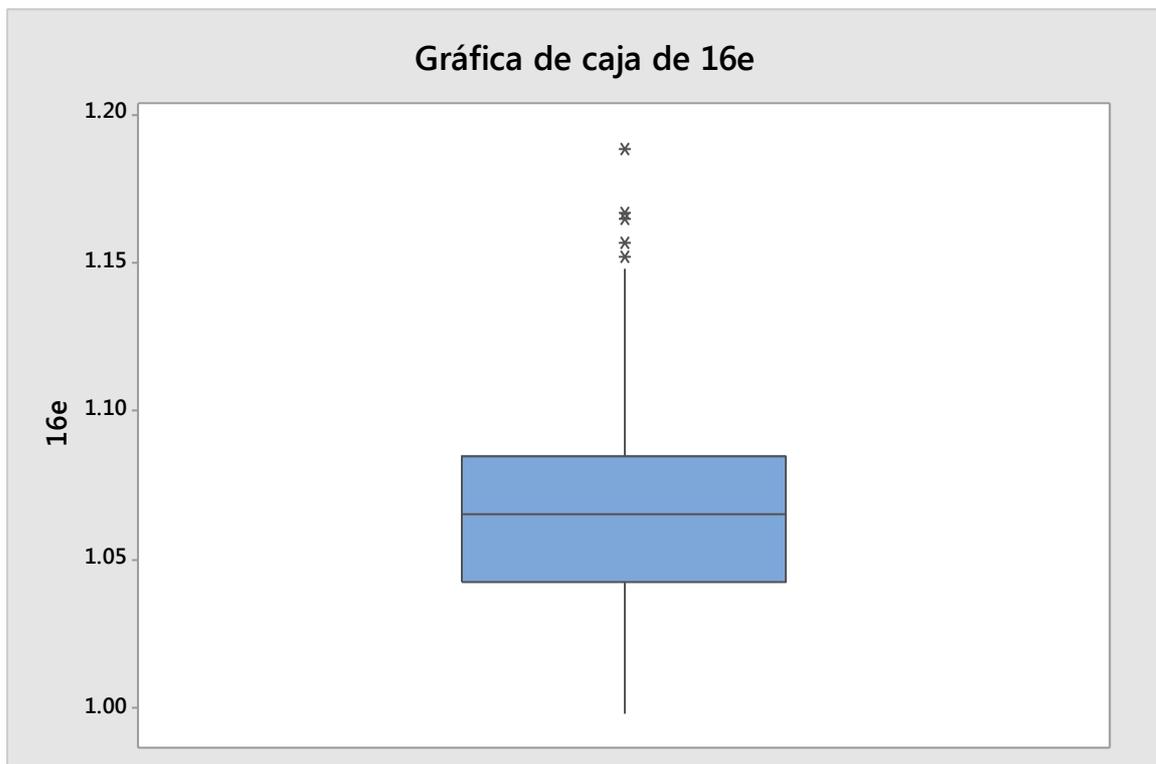


Figura 129. Gráfico de caja de la semana 16  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
547	145	1.06561	0.0323717	1.06546	0.998250	1.18814	0.312769	0.208483

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.99825

Límite de control inferior

0.9986500                      1.18814

Límite de control superior

Línea central 1.06561

### Estandarización semana 17

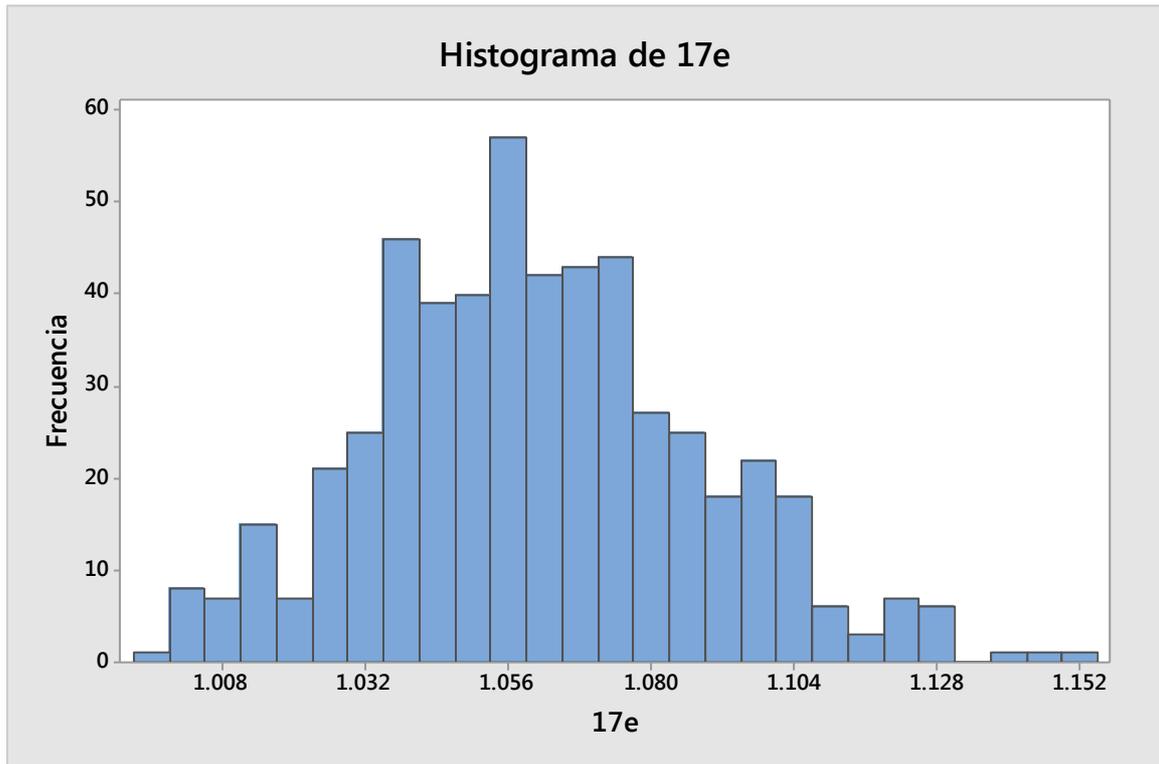


Figura 130. Histograma de la semana 17 estandarizada

Fuente: Elaboración propia

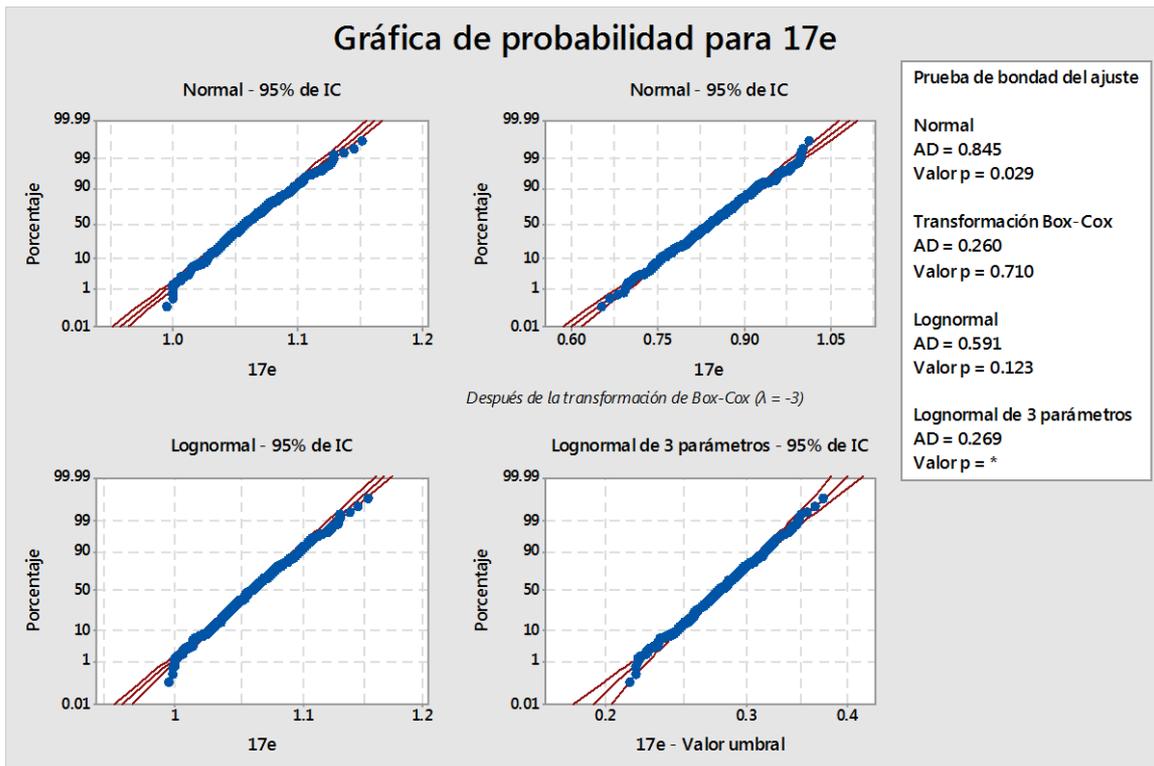


Figura 131. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 17  
Fuente: Elaboración propia

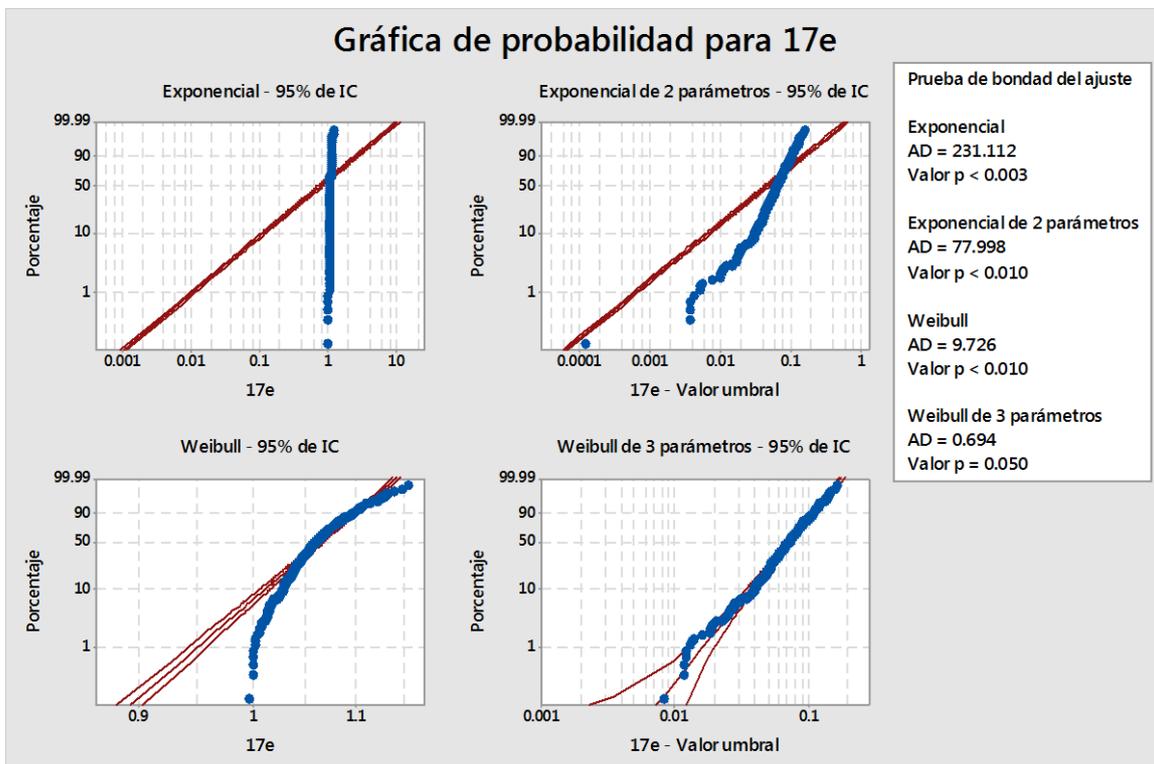


Figura 132. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 17  
Fuente: Elaboración propia

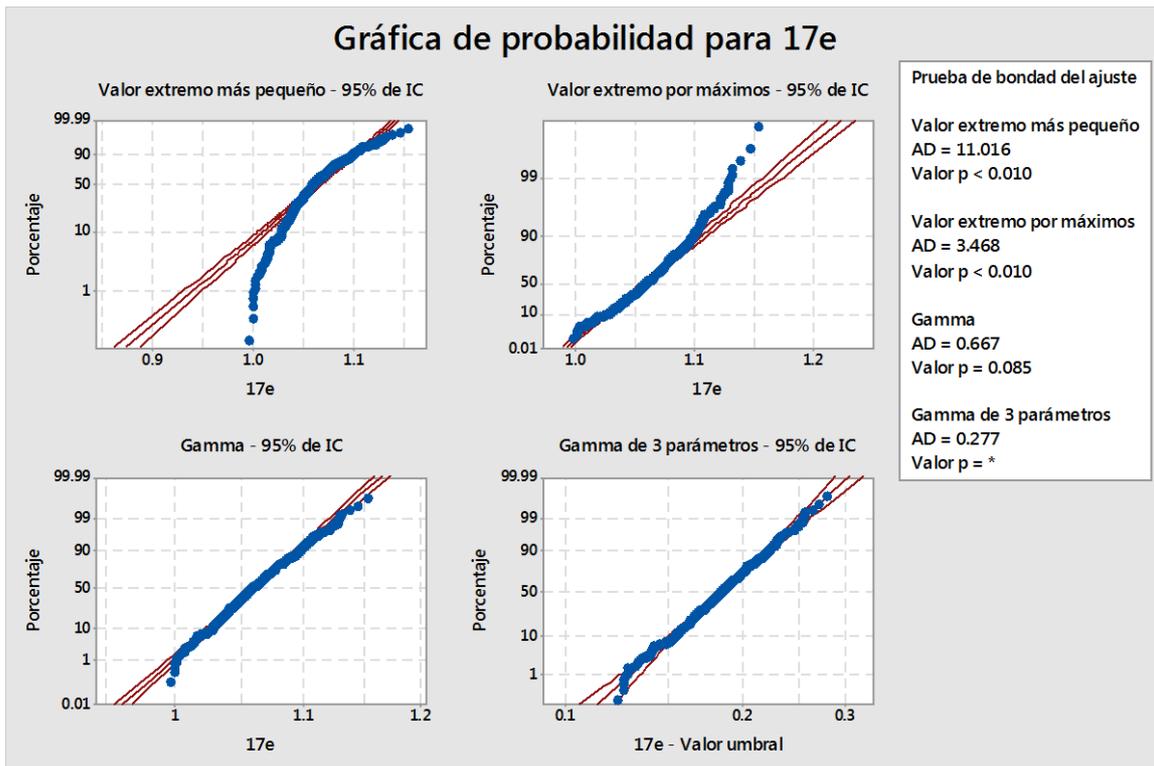


Figura 133. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 17  
Fuente: Elaboración propia

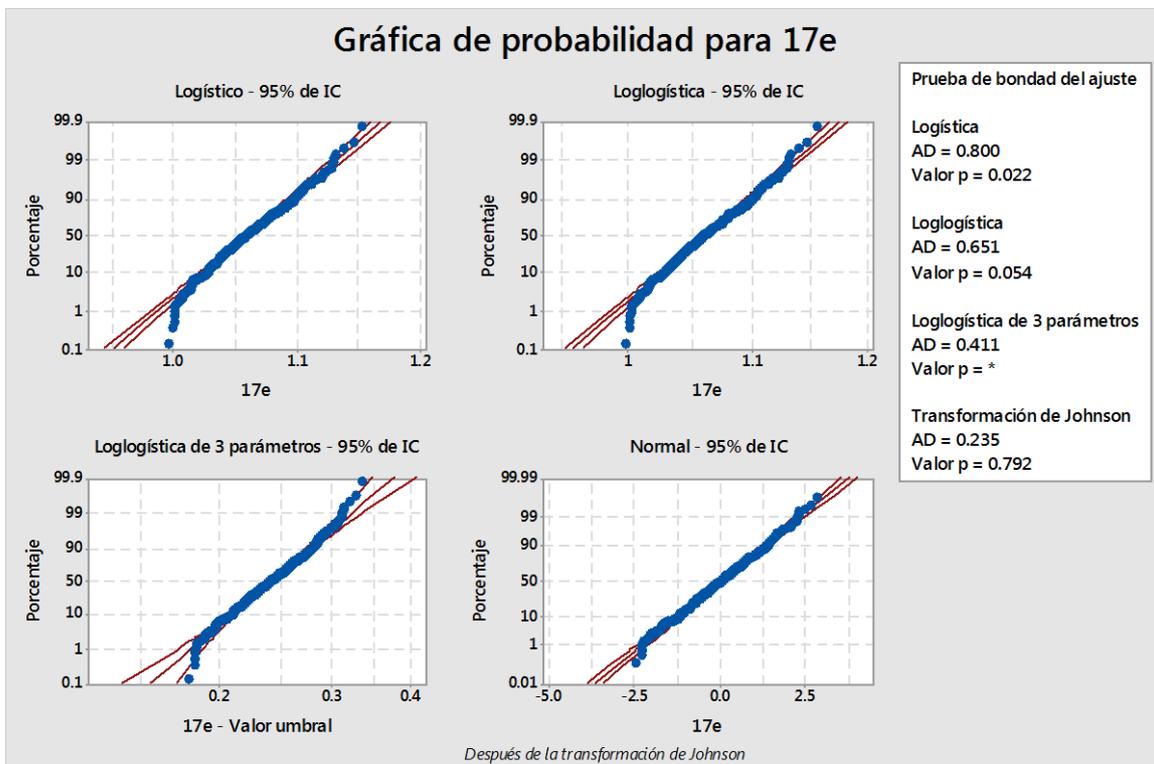


Figura 134. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 17  
Fuente: Elaboración propia

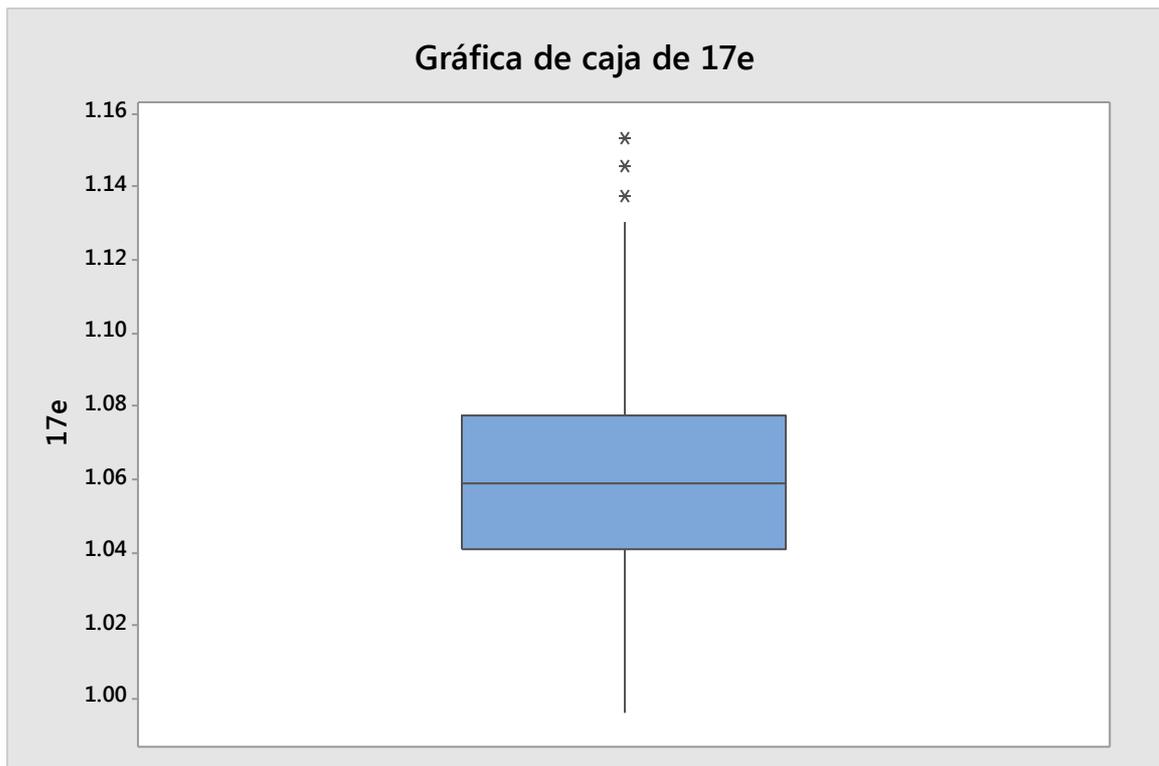


Figura 135. Gráfico de caja de la semana 17

Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
530	162	1.06082	0.0273814	1.05873	0.996424	1.15325	0.281975	0.0576899

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                      0.99642

Límite de control inferior

0.9986500                      1.15325

Límite de control superior

Línea central 1.06082

Estandarización semana 18

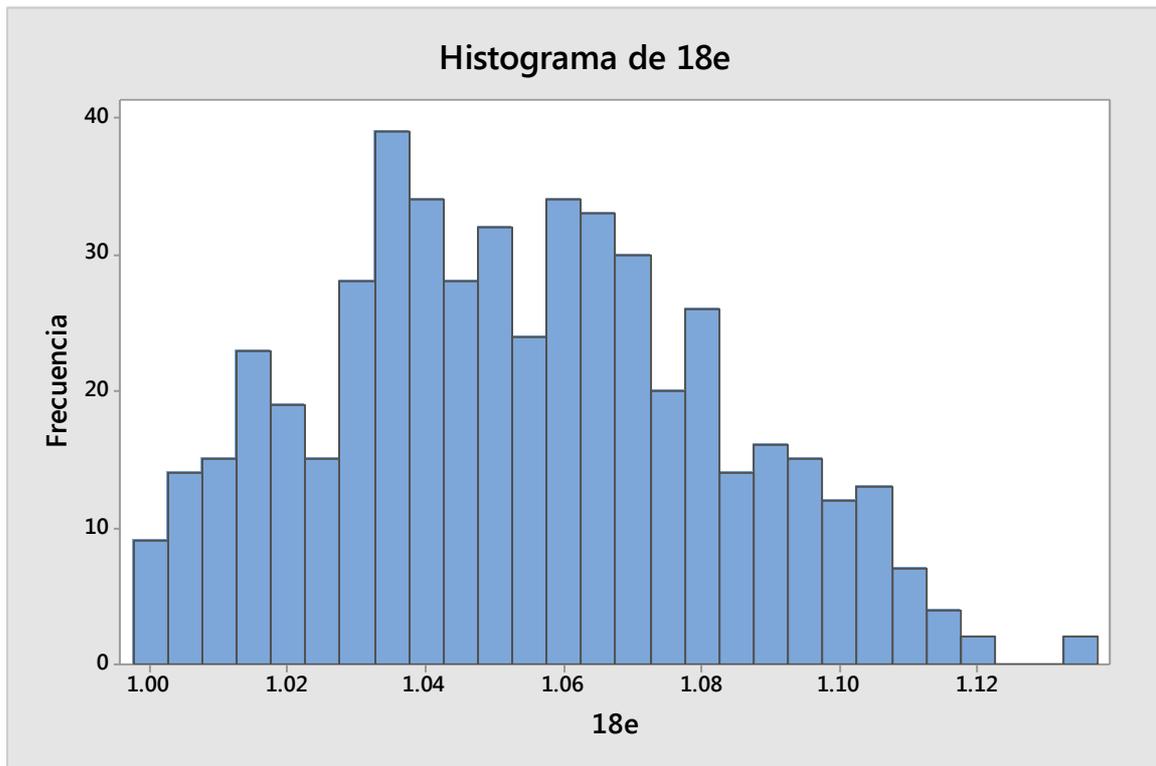


Figura 136. Histograma de la semana 18 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

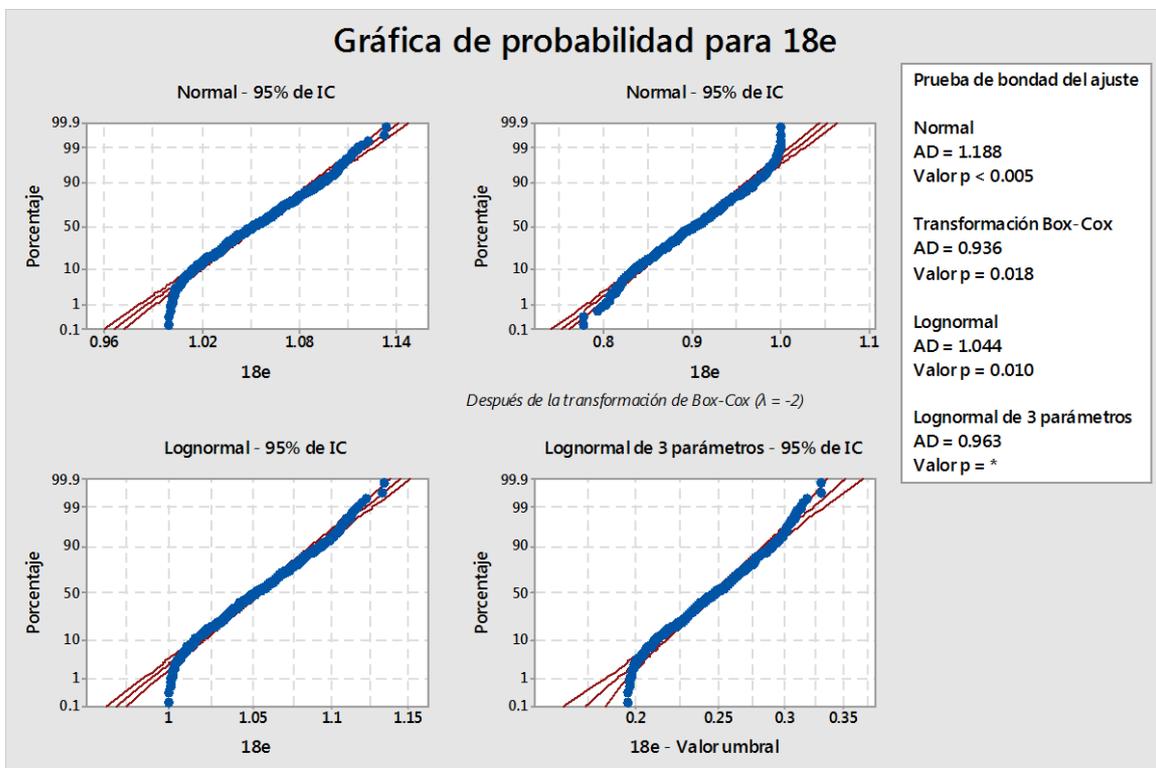


Figura 137. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 18  
Fuente: Elaboración propia

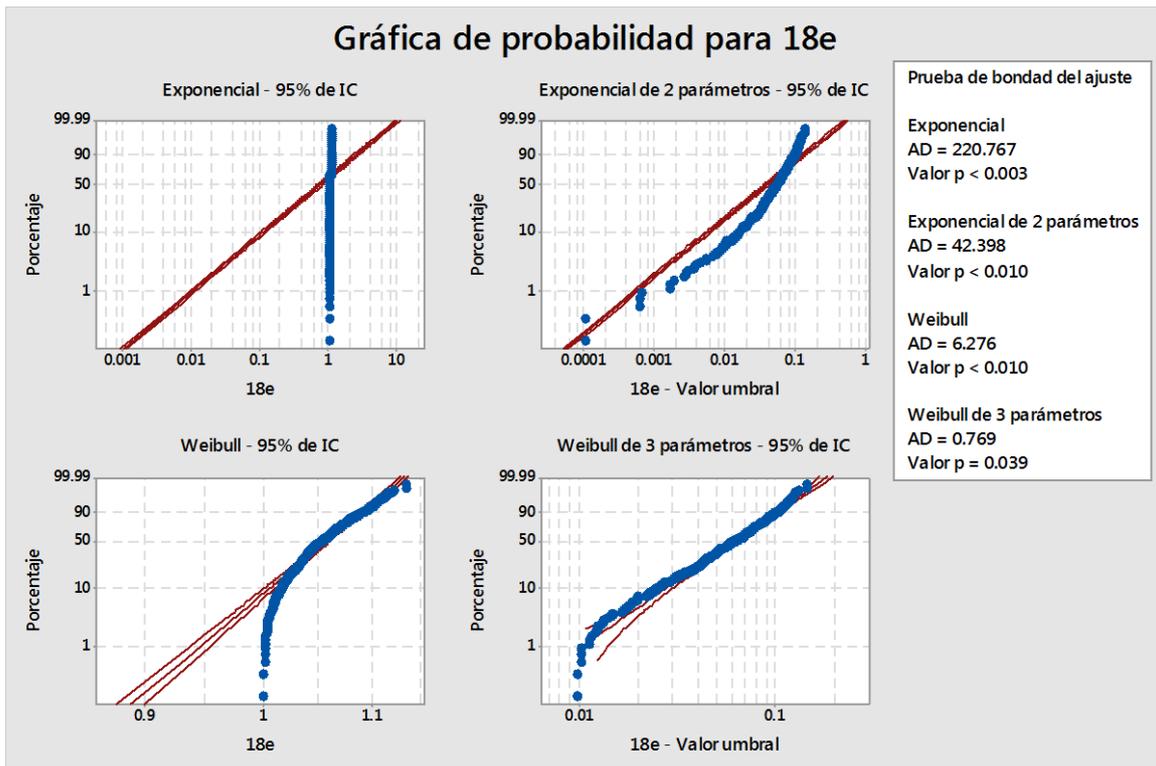


Figura 138. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 18  
Fuente: Elaboración propia

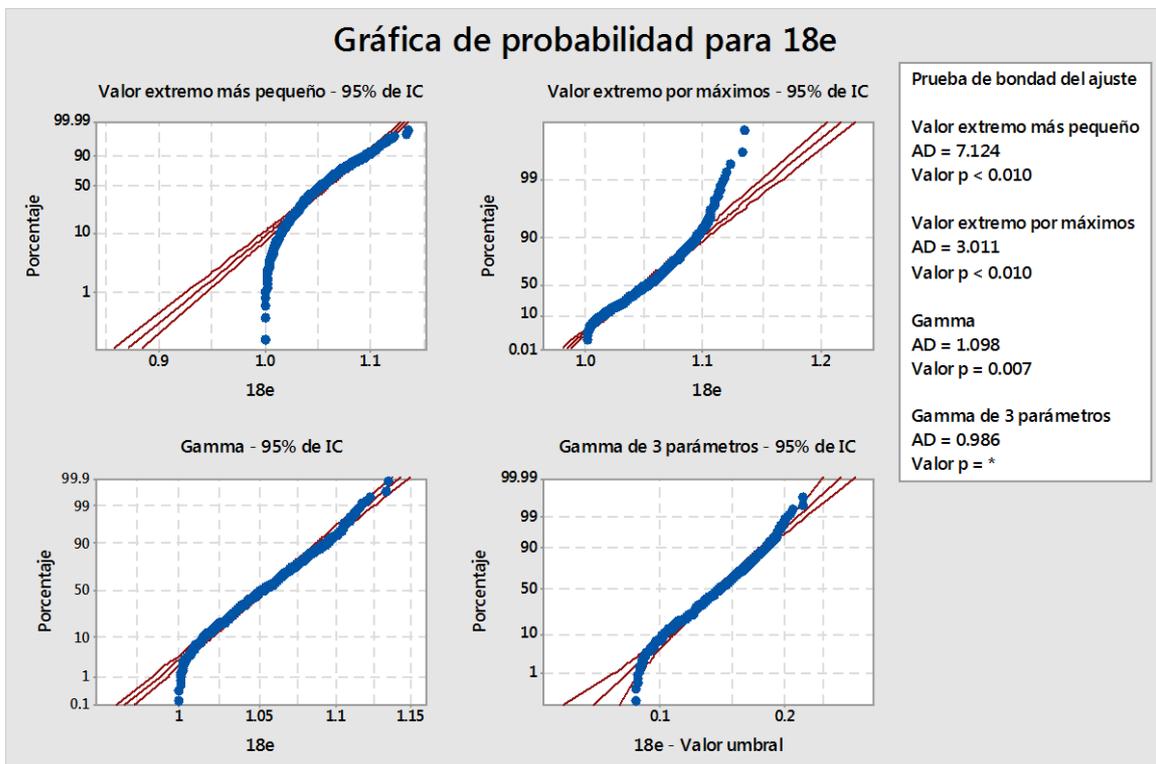


Figura 139. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 18  
Fuente: Elaboración propia

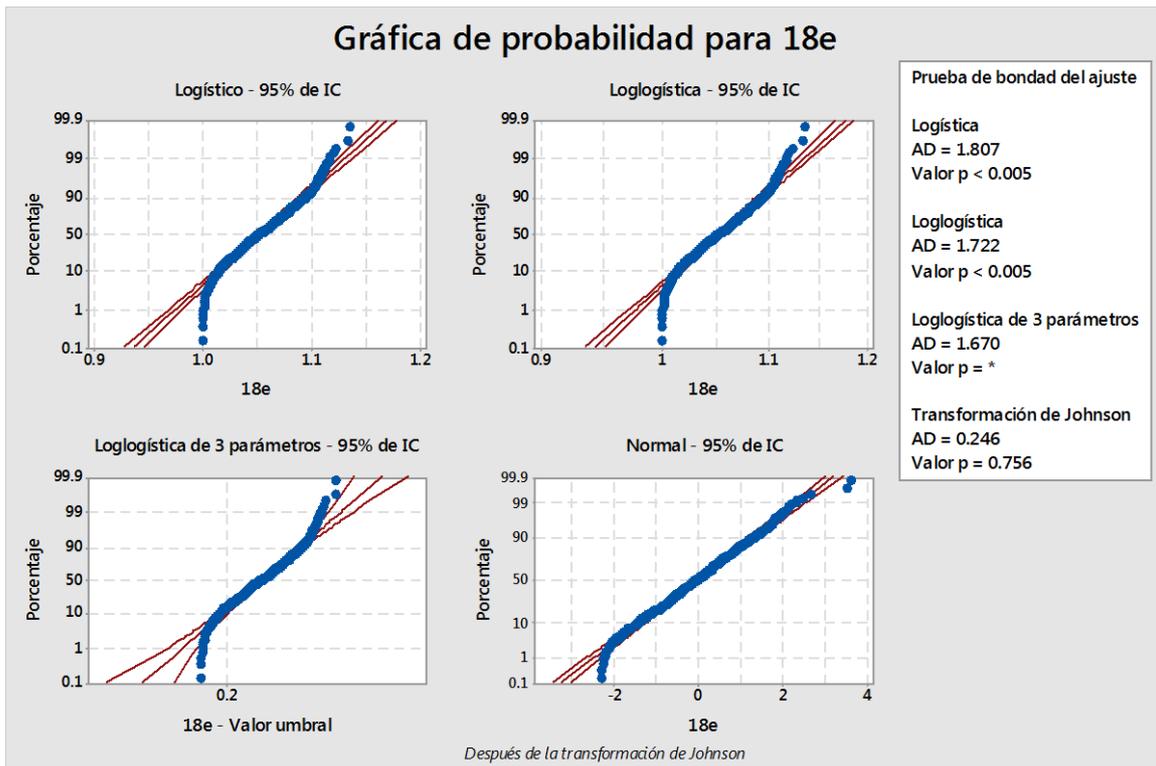


Figura 140. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 18  
 Fuente: Elaboración propia

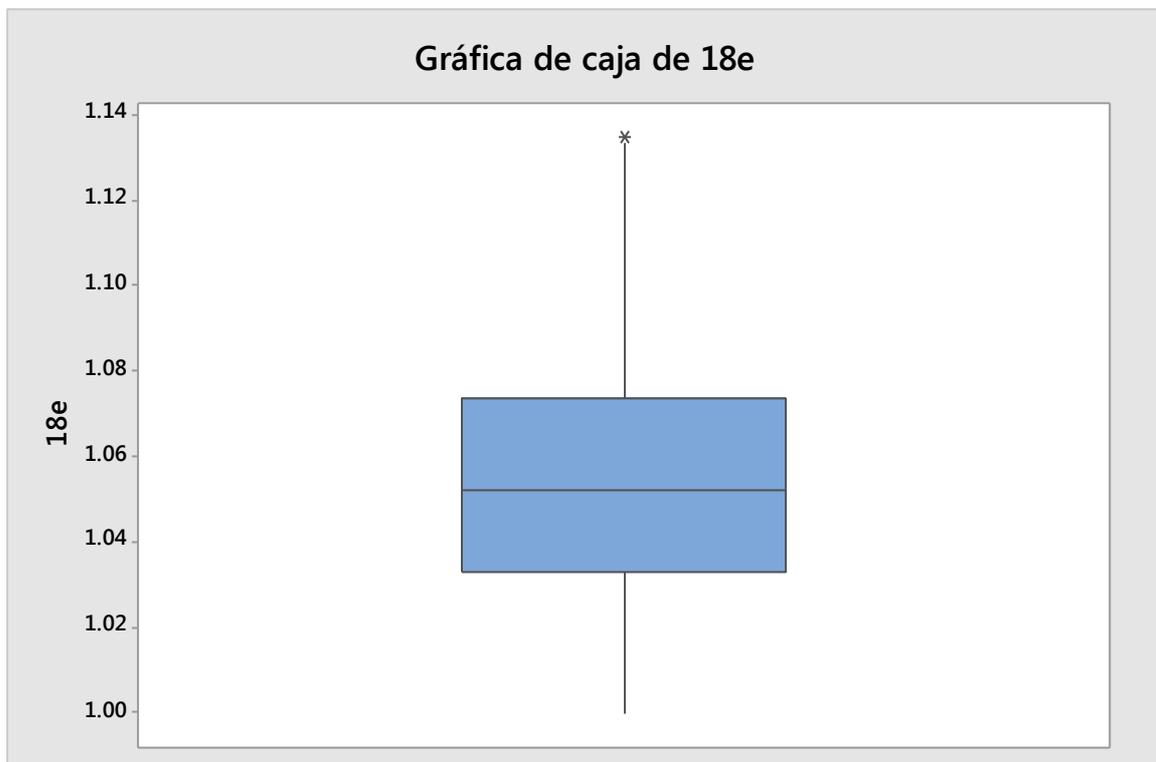


Figura 141. Gráfico de caja de la semana 18  
 Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
508	184	1.05368	0.0285234	1.05233	1	1.13474	0.202793	-0.588782

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                              1                              Límite de control inferior

0.9986500                              1.13474                              Límite de control superior

Línea central 1.05368

### Estandarización semana 19

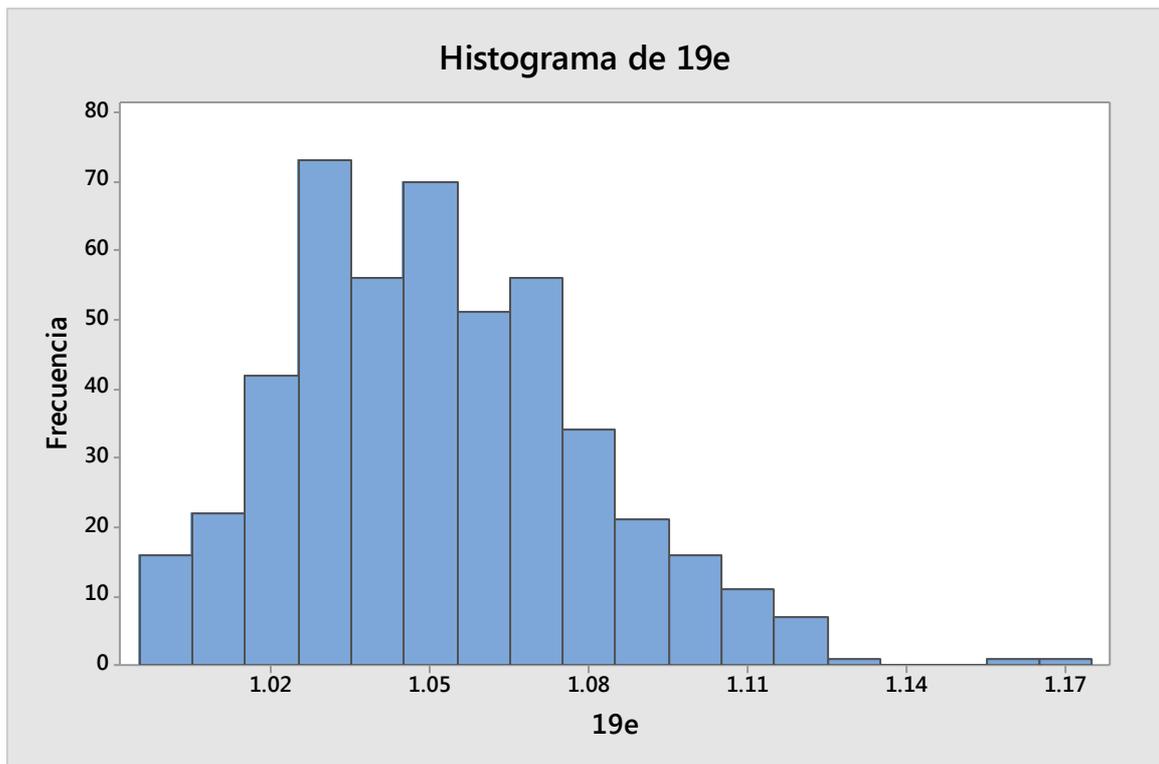


Figura 142. Histograma de la semana 19 estandarizada

Fuente: Elaboración propia

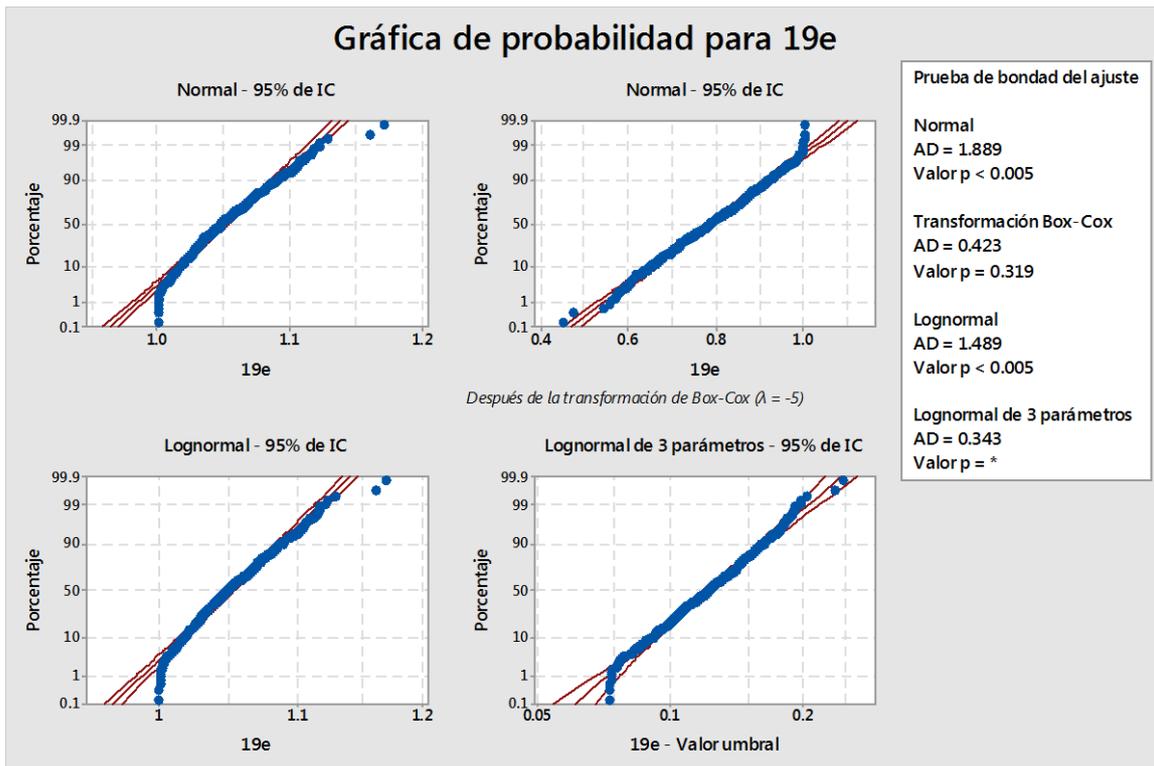


Figura 143. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 19  
Fuente: Elaboración propia

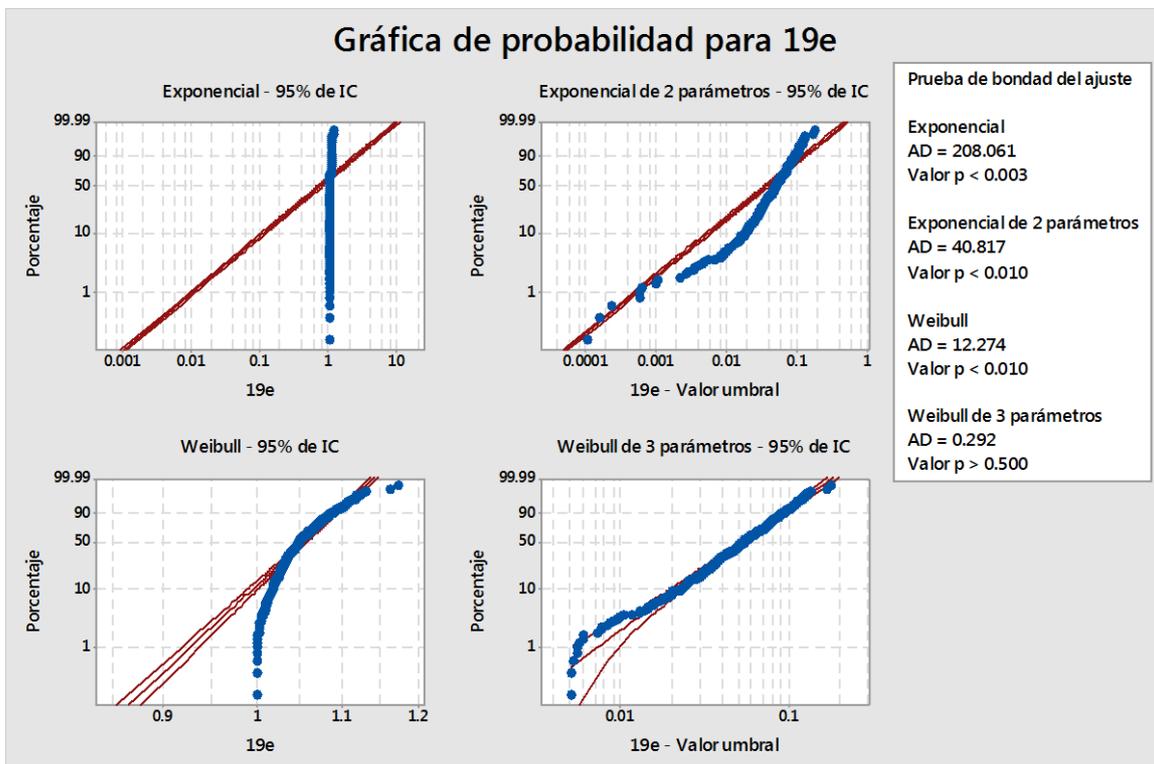


Figura 144. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 19  
Fuente: Elaboración propia

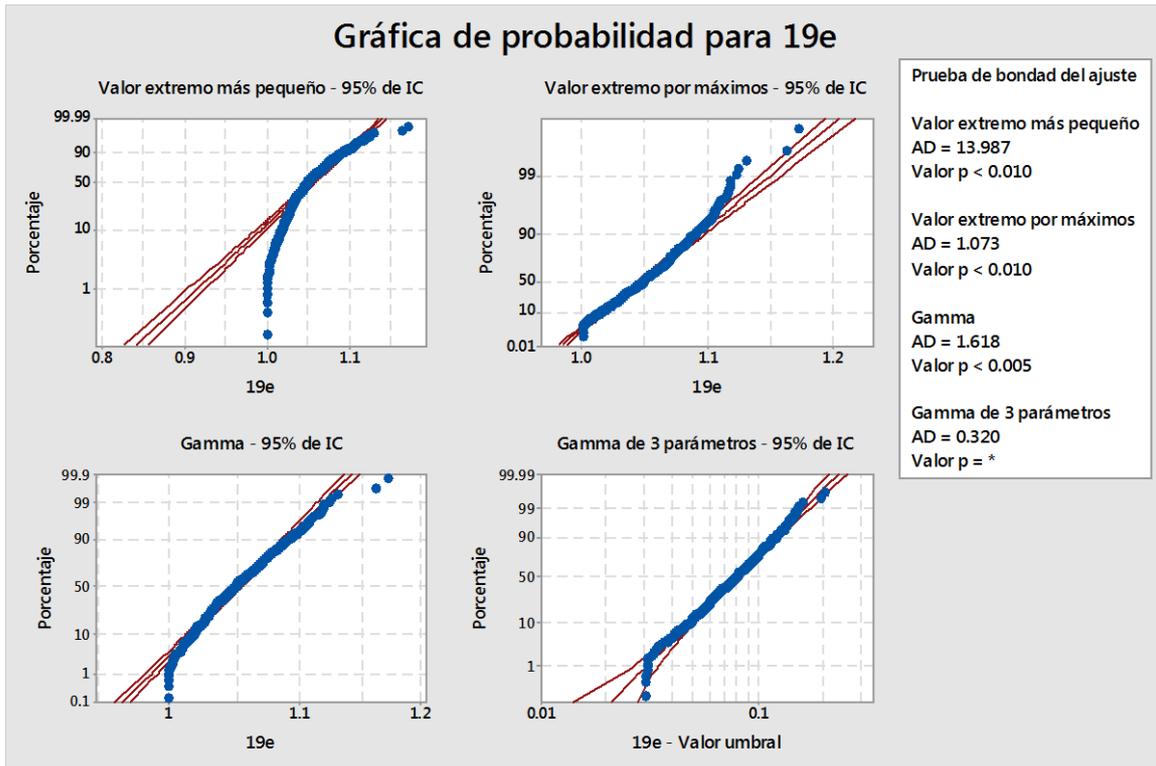


Figura 145. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 19  
Fuente: Elaboración propia

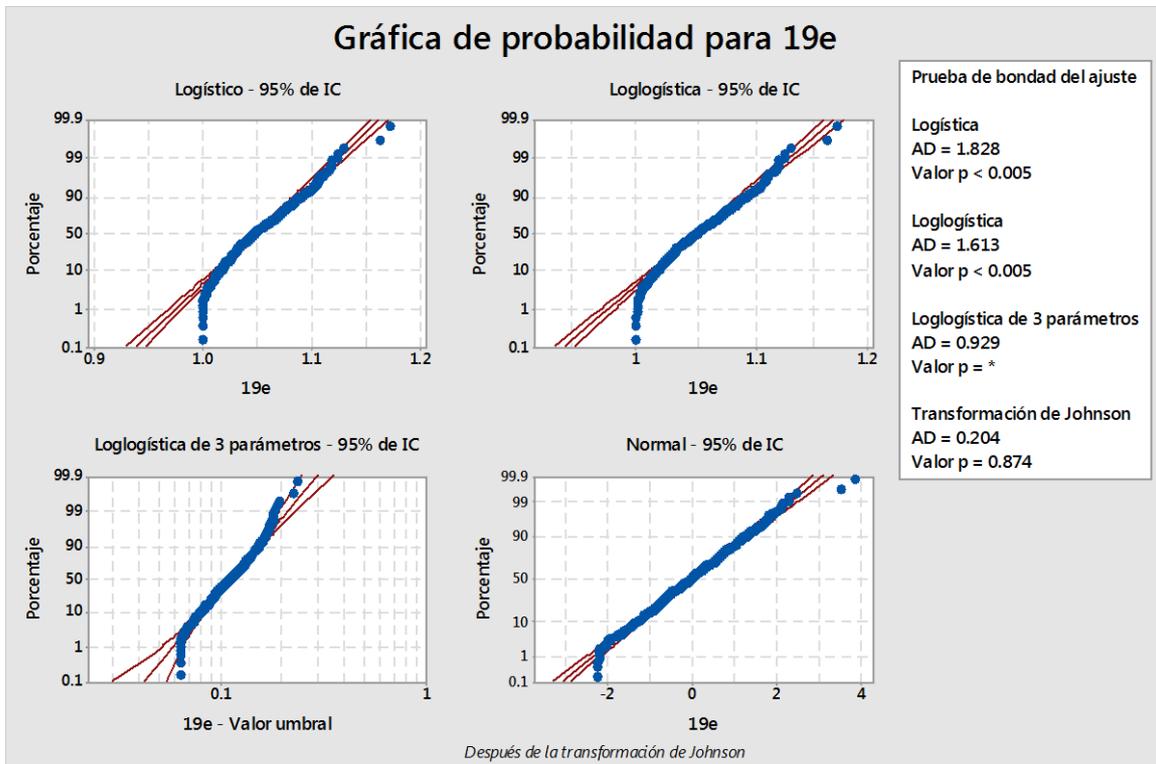


Figura 146. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 19  
Fuente: Elaboración propia

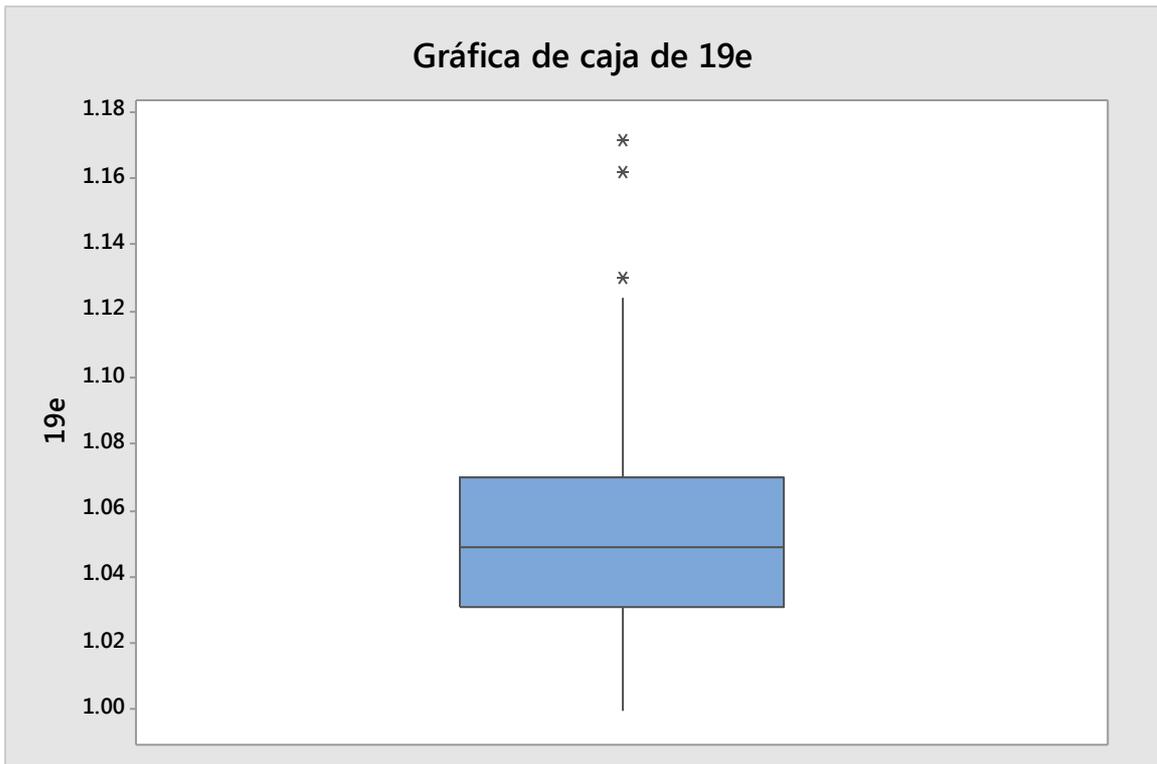


Figura 147. Gráfico de caja de la semana 19

Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
478	214	1.05182	0.0282398	1.04895	1	1.17164	0.578246	0.464845

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad                      Límite de control

0.0013499                              1                              Límite de control inferior

0.9986500                              1.17164                              Límite de control superior

Línea central 1.05182

Estandarización semana 20

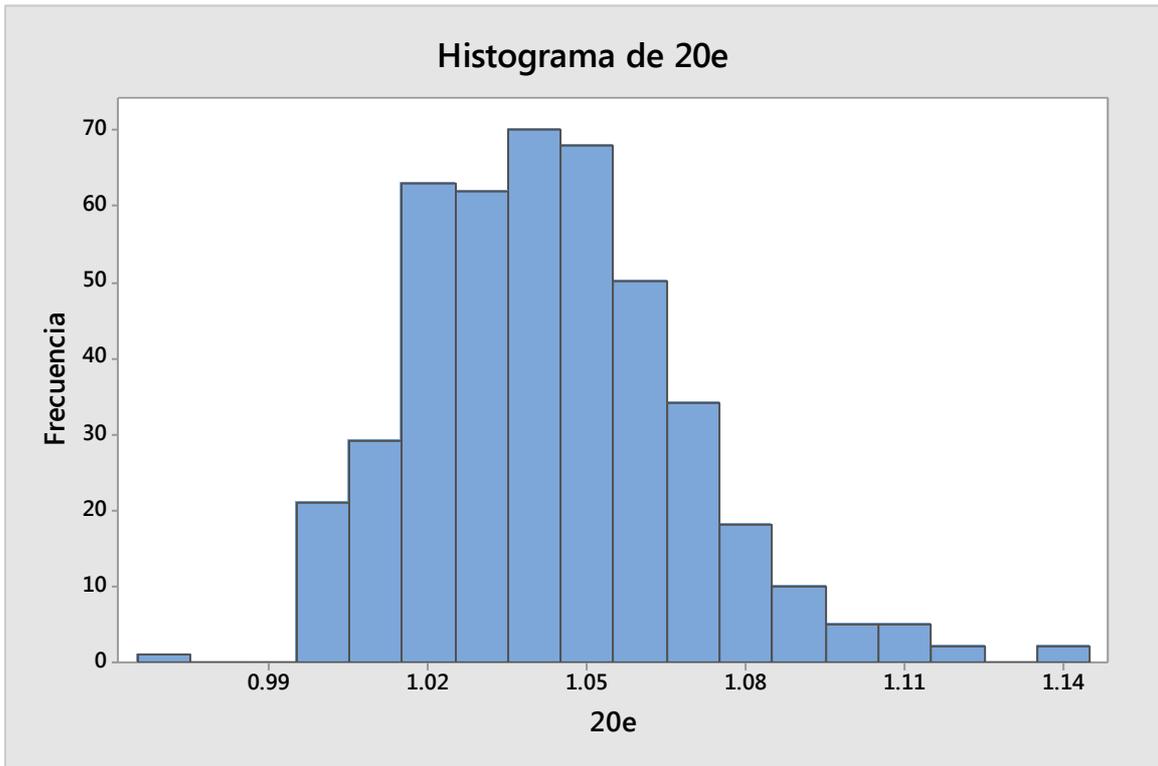


Figura 148. Histograma de la semana 20 estandarizada  
Fuente: Elaboración propia

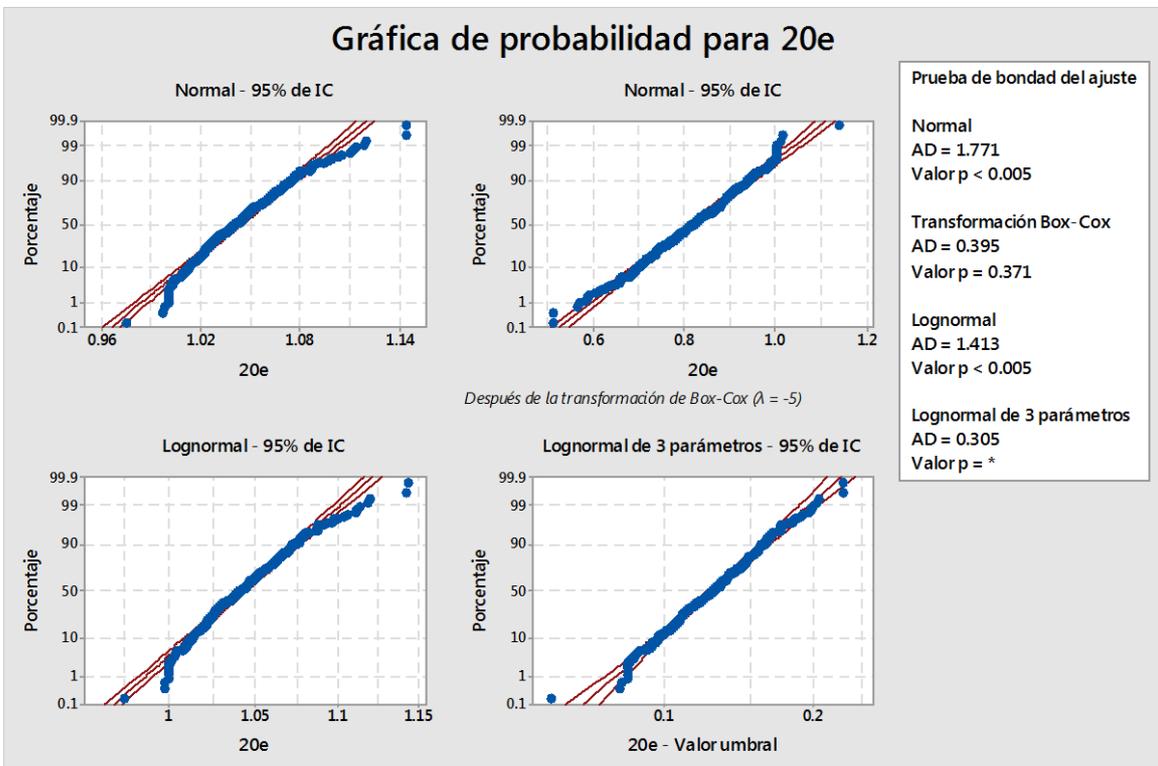


Figura 149. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 20  
Fuente: Elaboración propia

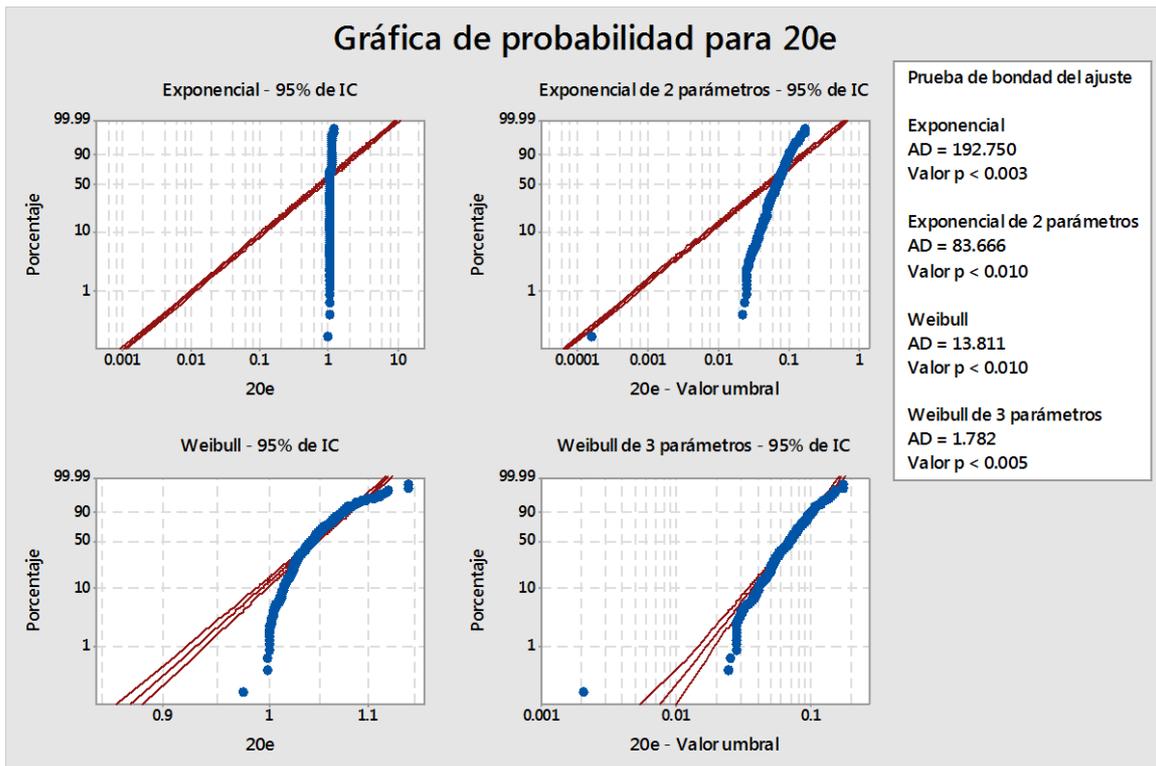


Figura 150. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 20  
Fuente: Elaboración propia

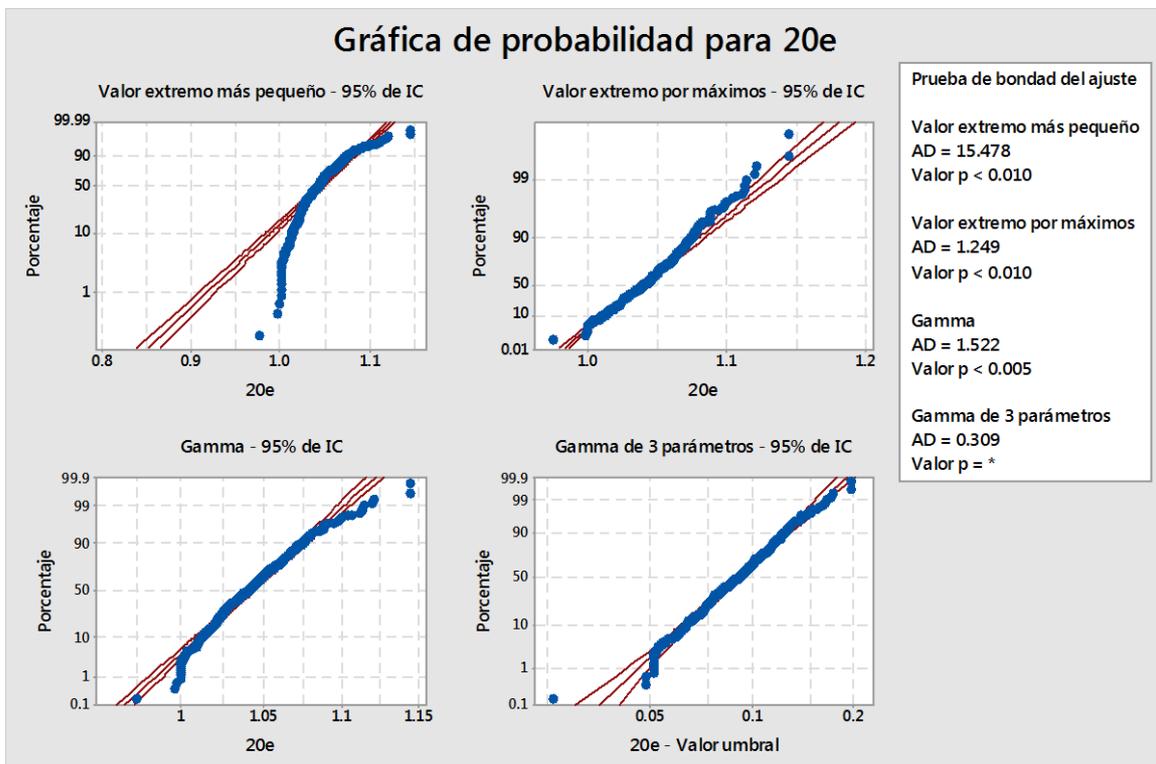


Figura 151. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 20  
Fuente: Elaboración propia

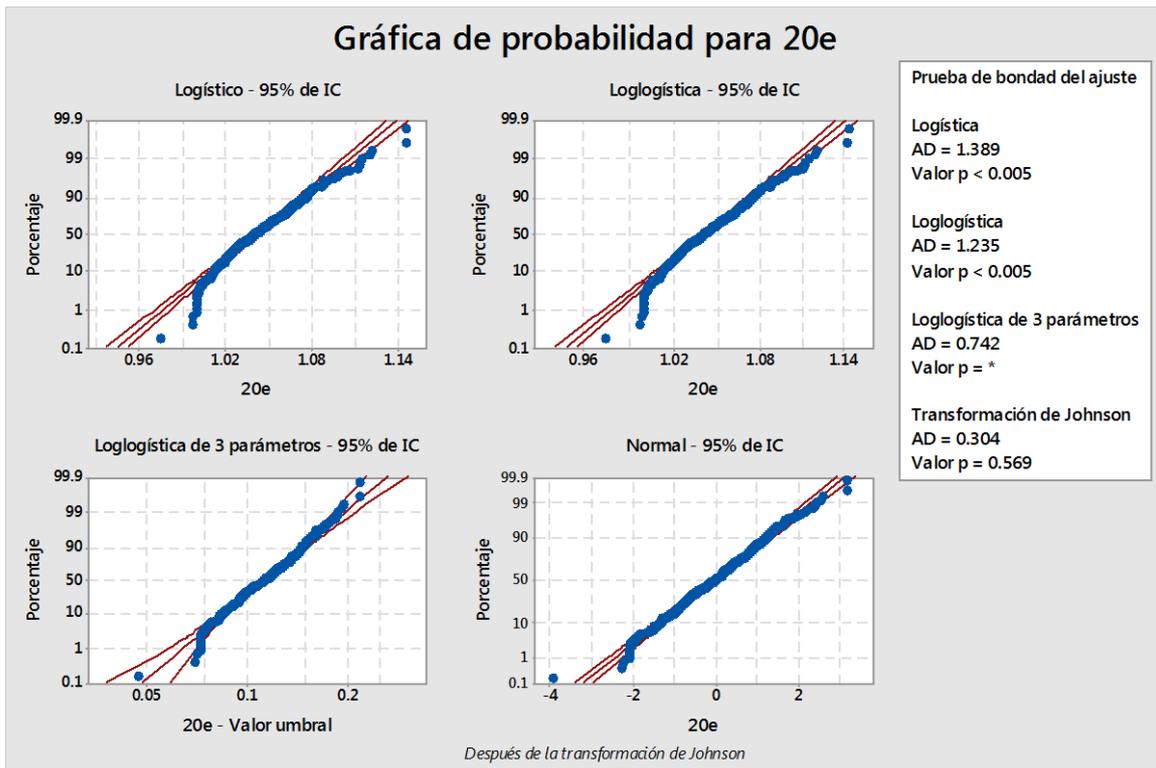


Figura 152. Gráfico de las diferentes distribuciones de probabilidad de la semana 20  
Fuente: Elaboración propia

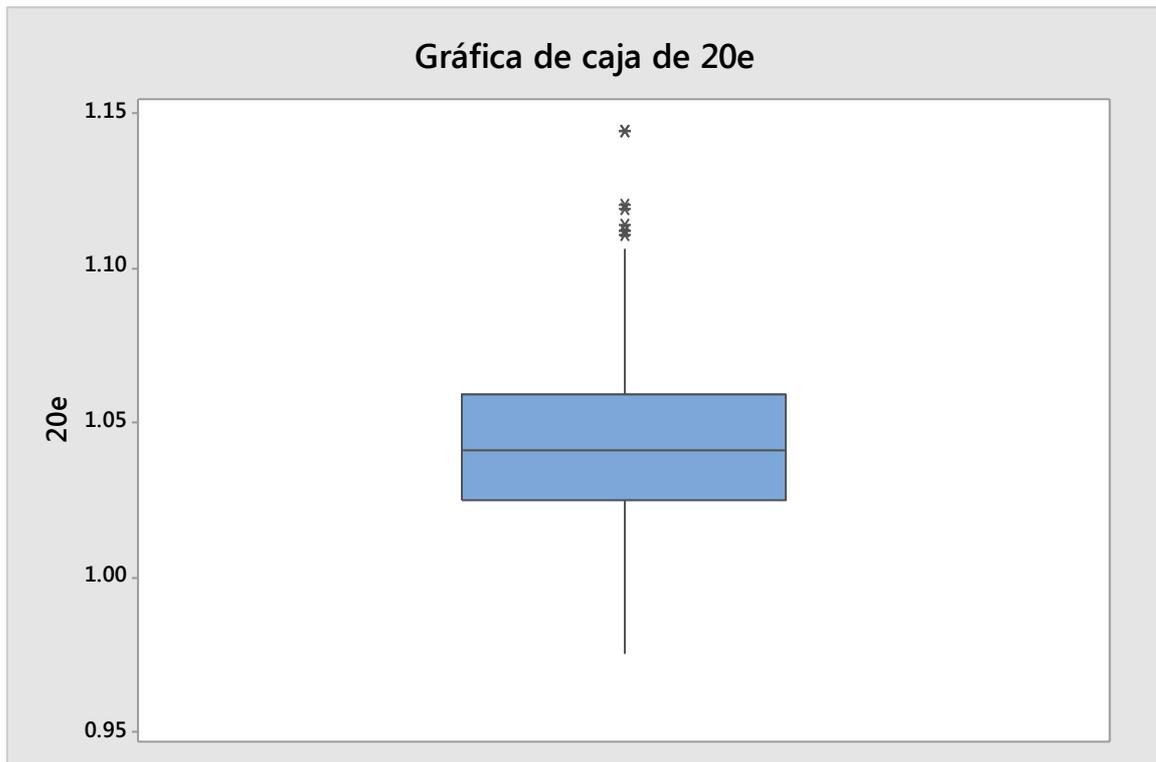


Figura 153. Gráfico de caja de la semana 20  
Fuente: Elaboración propia

N	N*	Media	Desv.Est.	Mediana	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
440	252	1.04289	0.0248873	1.04086	0.974906	1.14428	0.664743	0.985059

Equivalente a 6 sigma en normal

Probabilidad            Límite de control

0.0013499            0.97491

Límite de control inferior

0.9986500            1.14428

Límite de control superior

Línea central 1.04289



## Anexo B

### Cartas de control

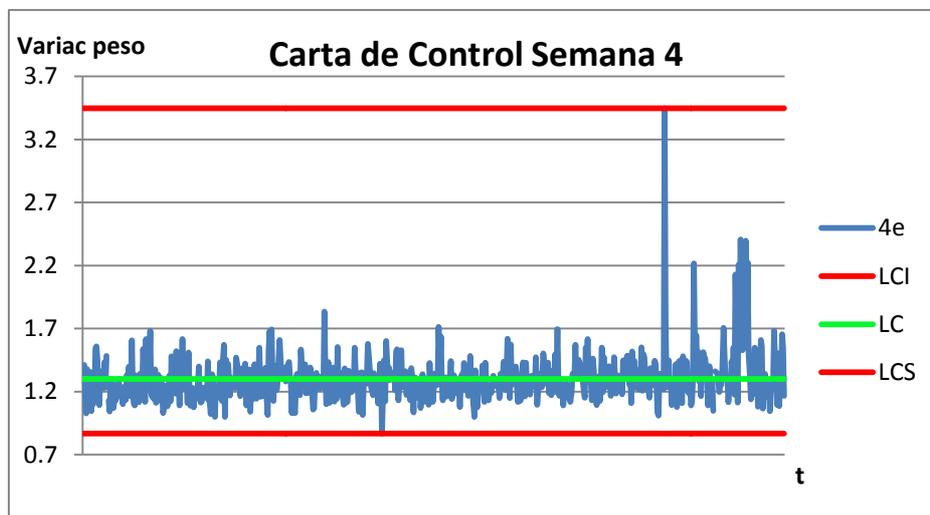


Figura 154. Carta de control de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

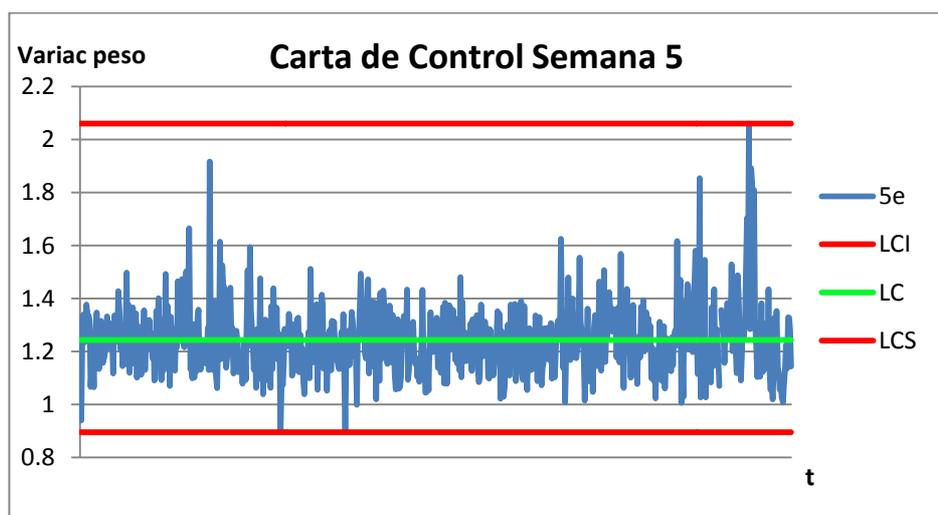


Figura 155. Carta de control de la semana 5  
Fuente: Elaboración propia

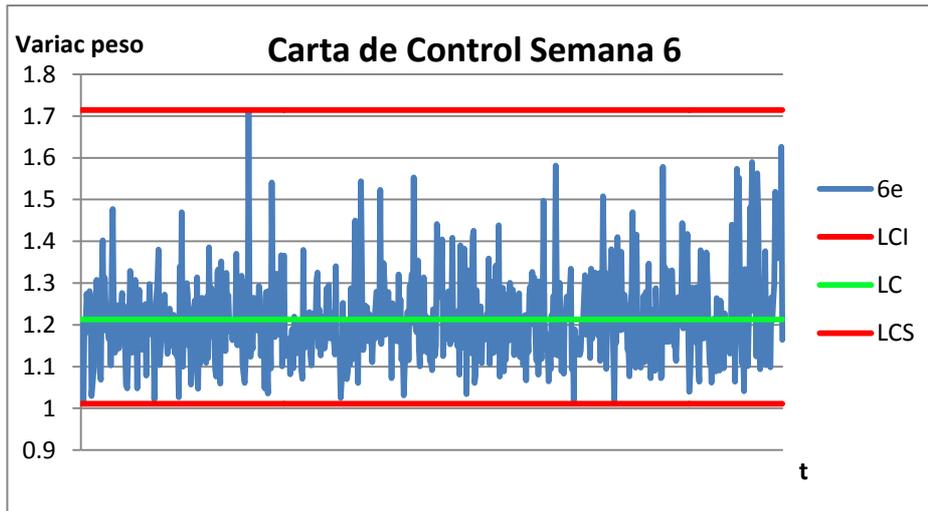


Figura 156. Carta de control de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

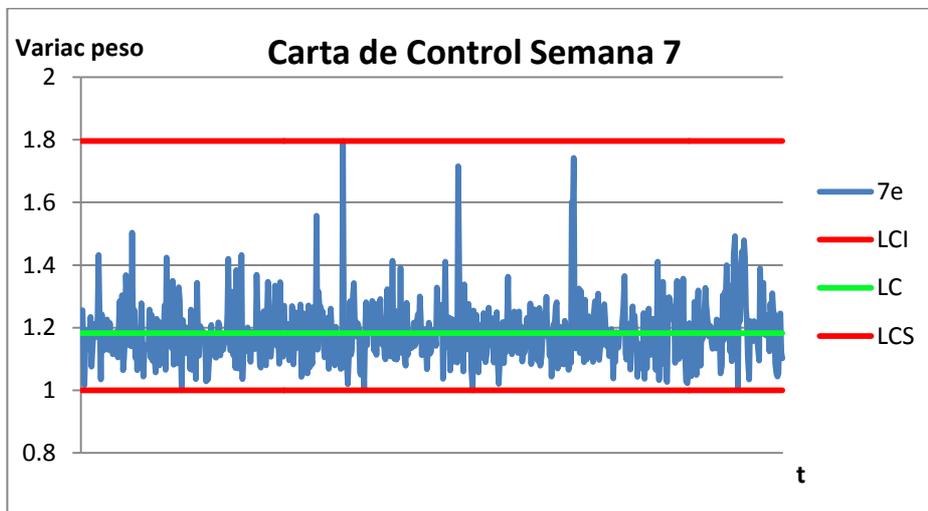


Figura 157. Carta de control de la semana 7  
Fuente: Elaboración propia

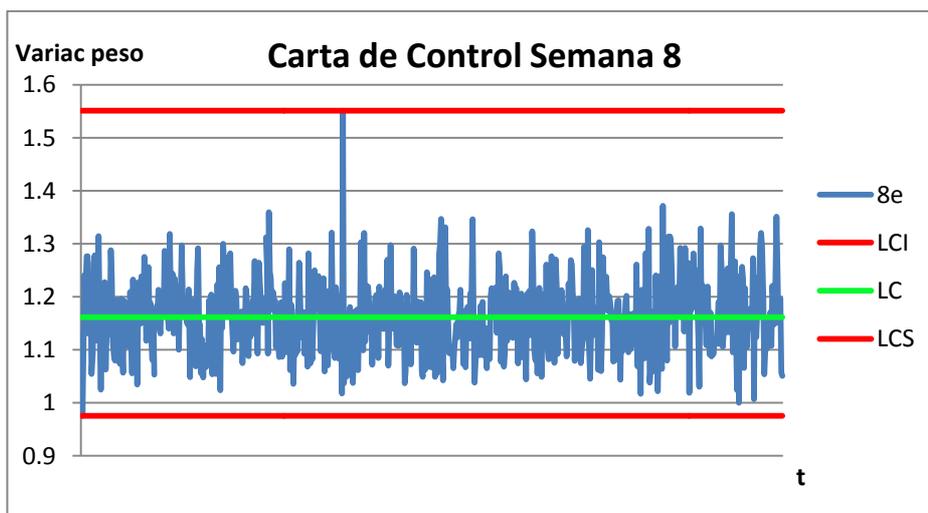


Figura 158. Carta de control de la semana 8  
Fuente: Elaboración propia

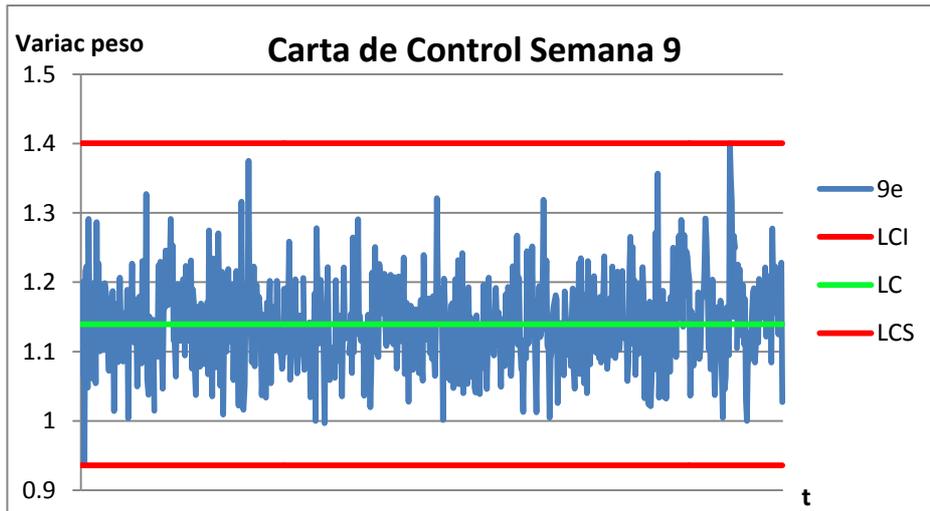


Figura 159. Carta de control de la semana 9  
Fuente: Elaboración propia

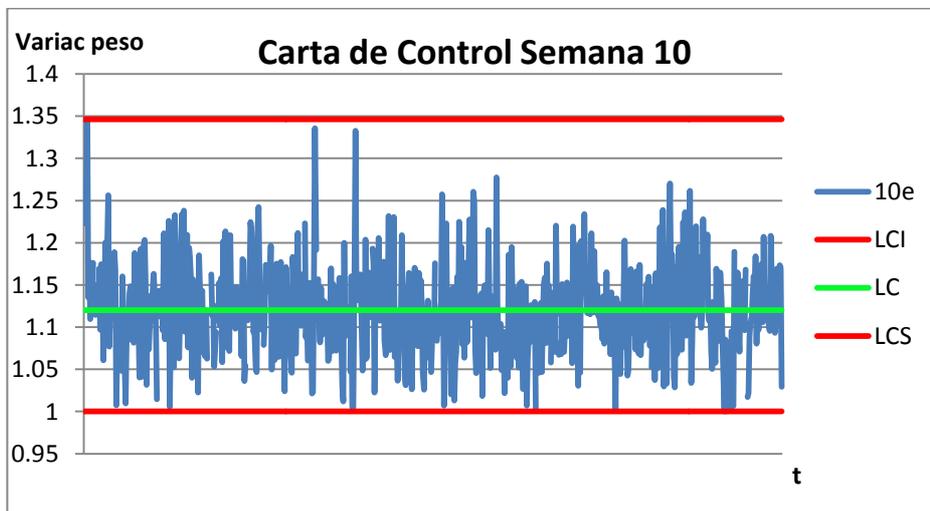


Figura 160. Carta de control de la semana 10  
Fuente: Elaboración propia

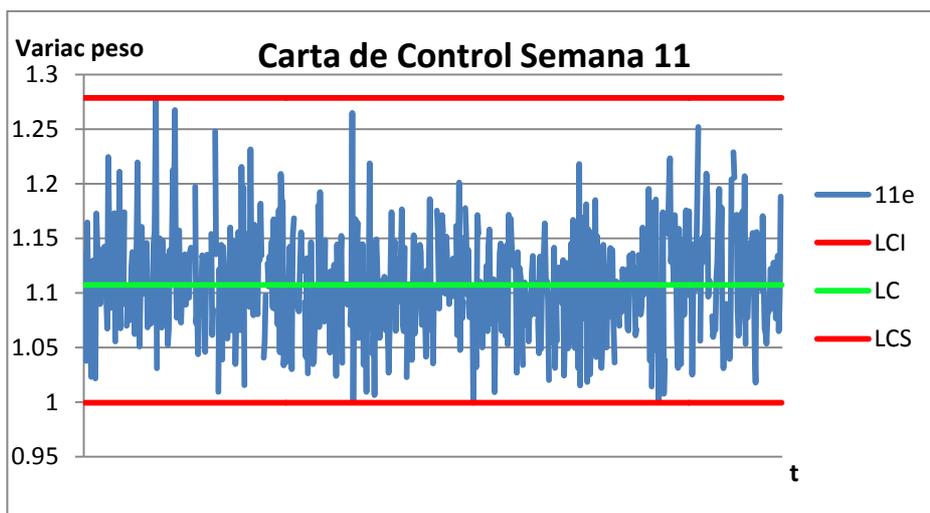


Figura 161. Carta de control de la semana 11  
Fuente: Elaboración propia

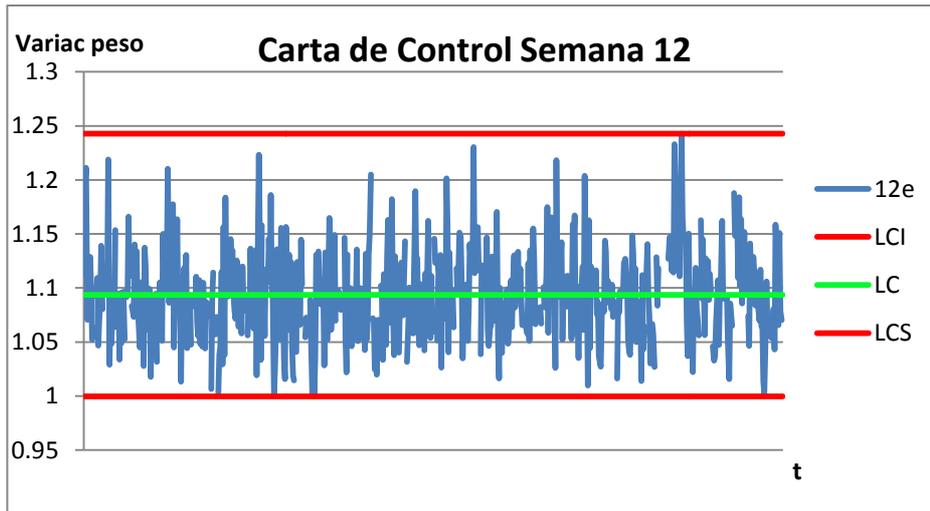


Figura 162. Carta de control de la semana 12  
Fuente: Elaboración propia

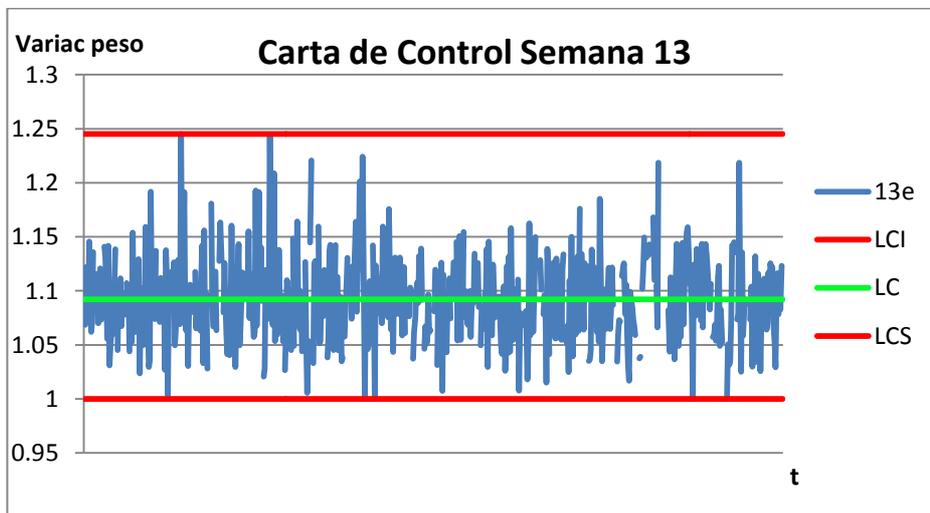


Figura 163. Carta de control de la semana 13  
Fuente: Elaboración propia

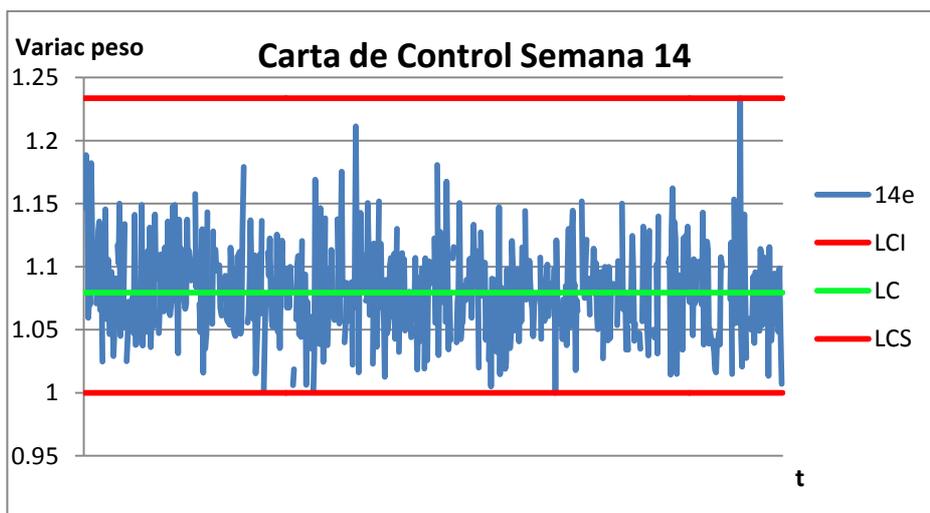


Figura 164. Carta de control de la semana 14  
Fuente: Elaboración propia

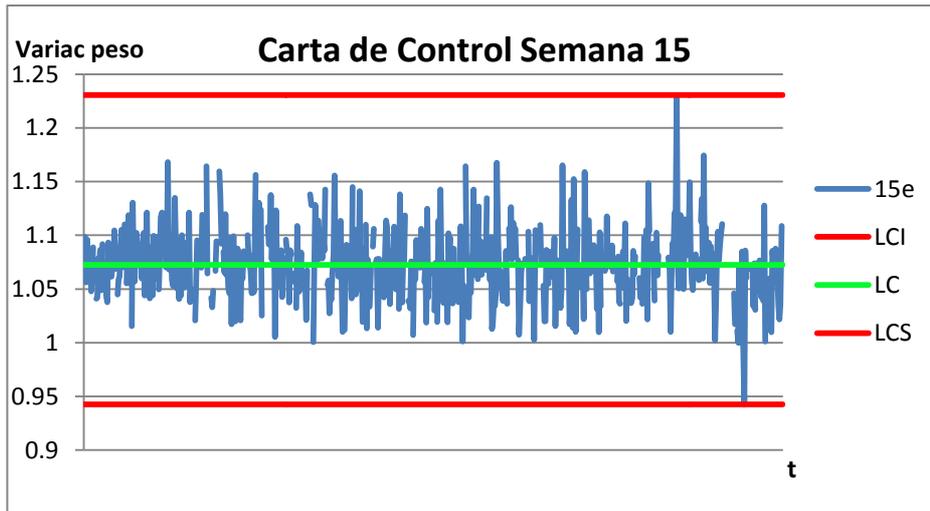


Figura 165. Carta de control de la semana 15  
Fuente: Elaboración propia

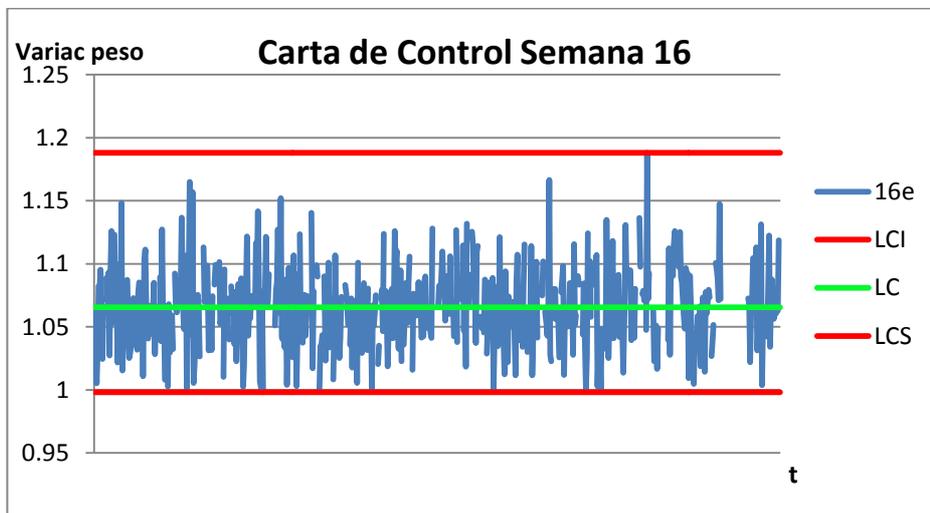


Figura 166. Carta de control de la semana 16  
Fuente: Elaboración propia

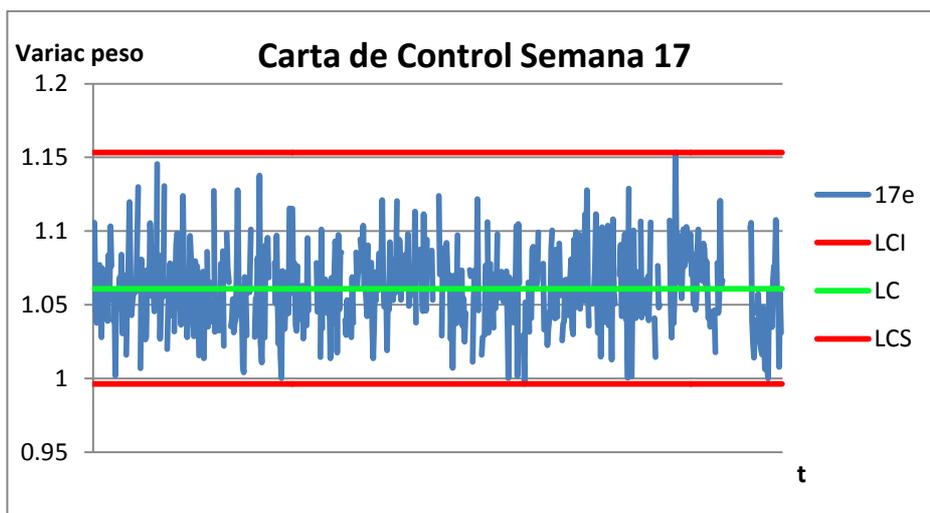


Figura 167. Carta de control de la semana 17  
Fuente: Elaboración propia

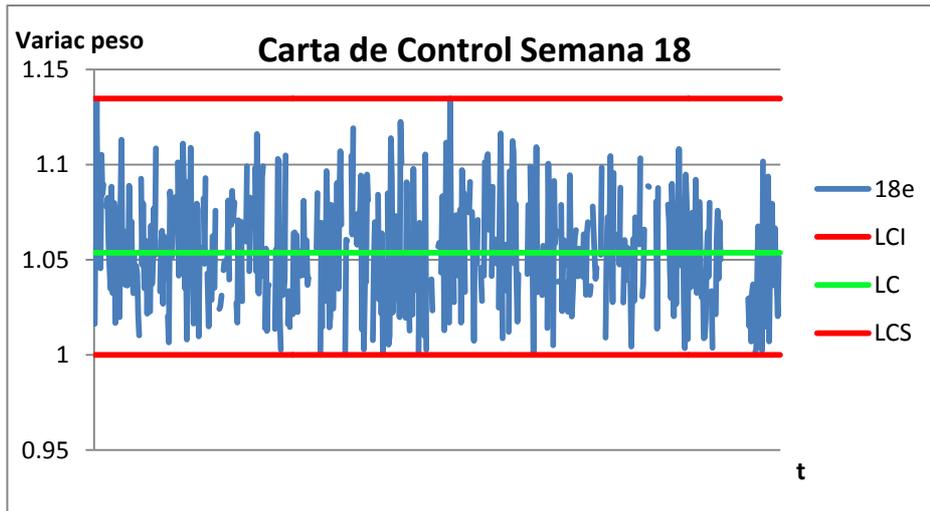


Figura 168. Carta de control de la semana 18

Fuente: Elaboración propia

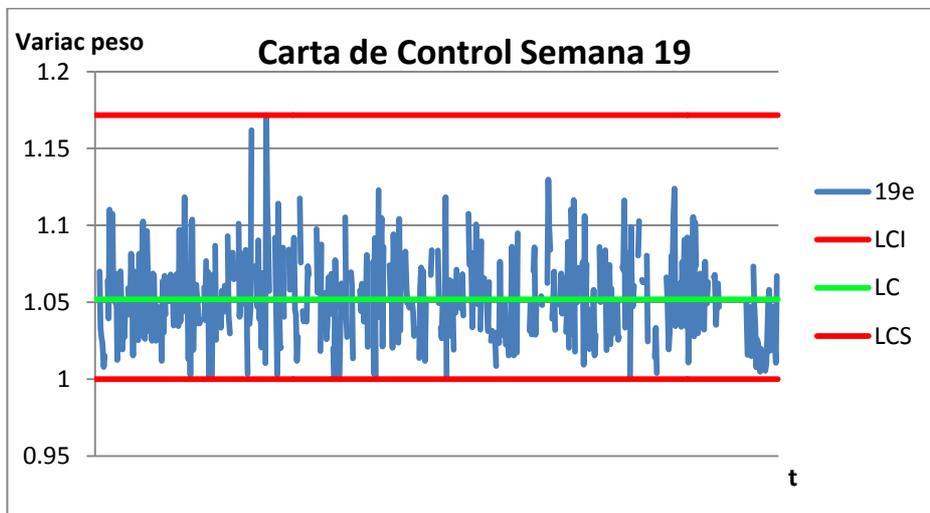


Figura 169. Carta de control de la semana 19

Fuente: Elaboración propia

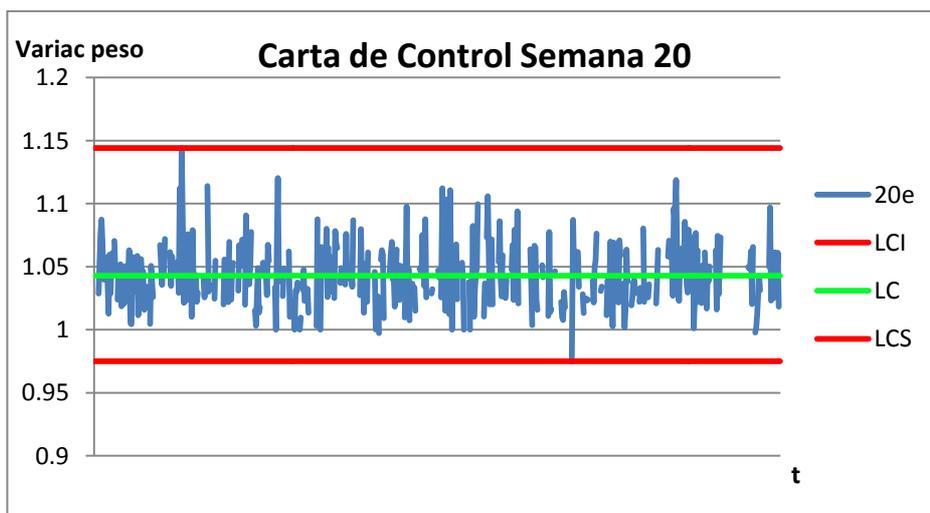


Figura 170. Carta de control de la semana 20

Fuente: Elaboración propia

## Anexo C

### Cartas de Control Optimizadas

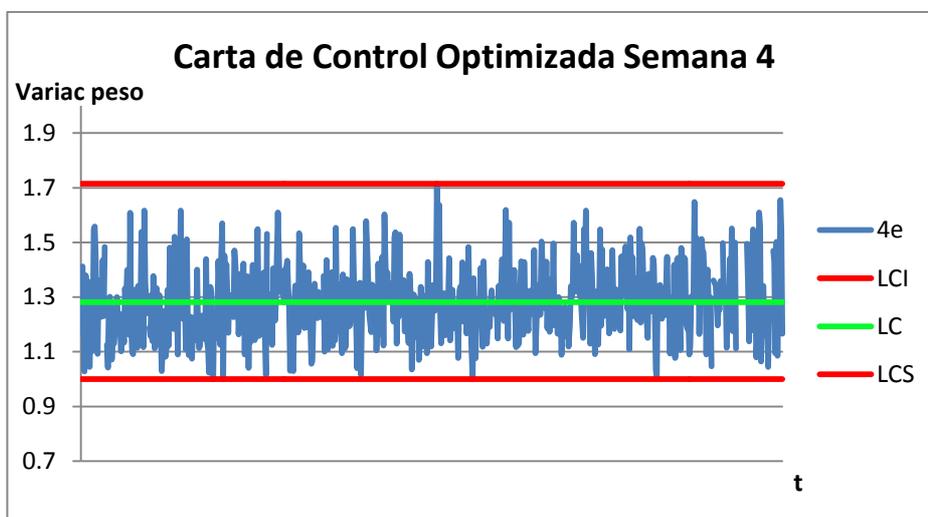


Figura 171. Carta de control optimizada de la semana 4  
Fuente: Elaboración propia

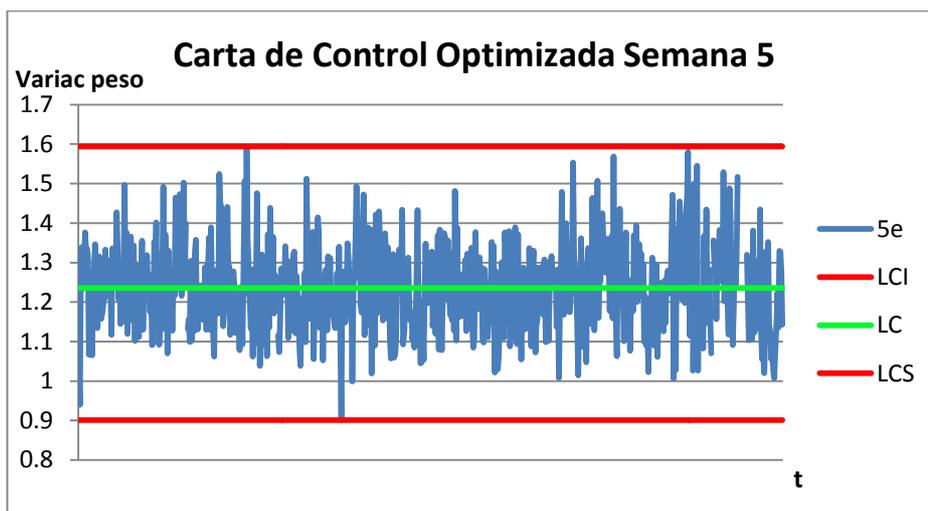


Figura 172. Carta de control optimizada de la semana 5  
Fuente: Elaboración propia

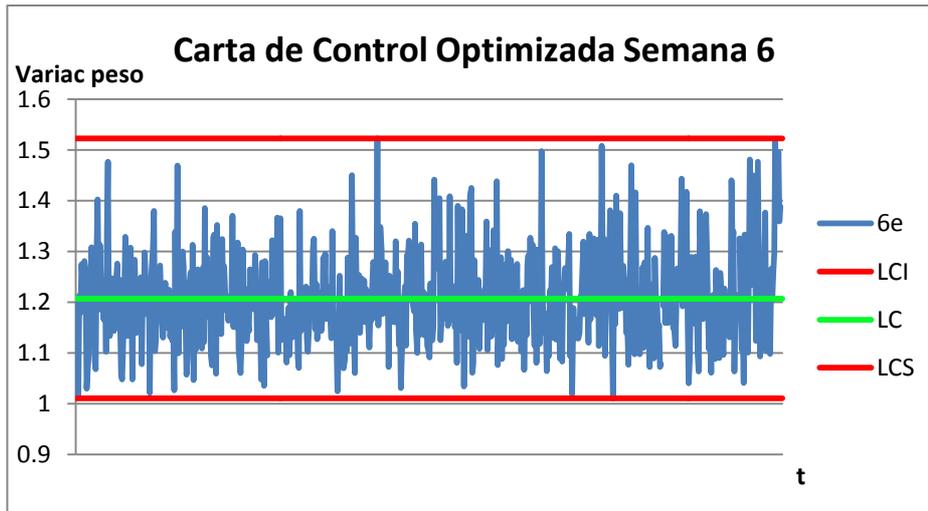


Figura 173. Carta de control optimizada de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

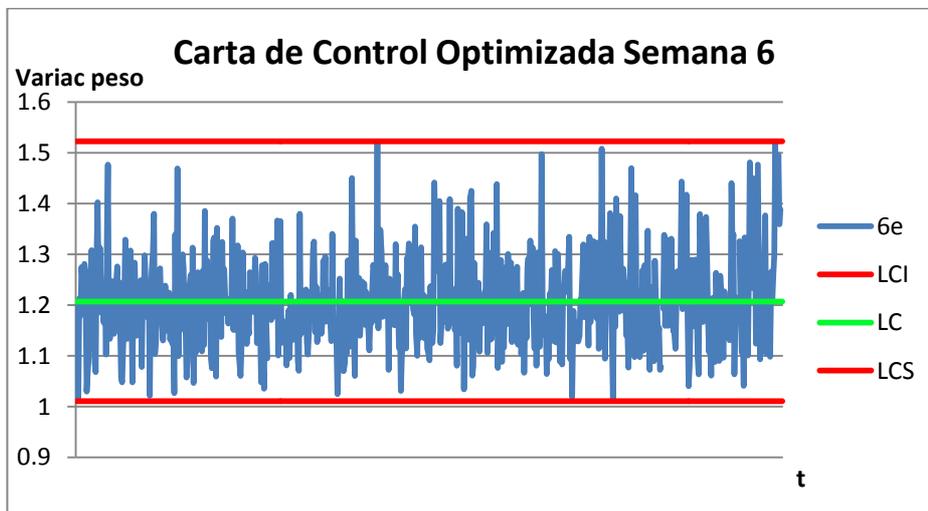


Figura 174. Carta de control optimizada de la semana 6  
Fuente: Elaboración propia

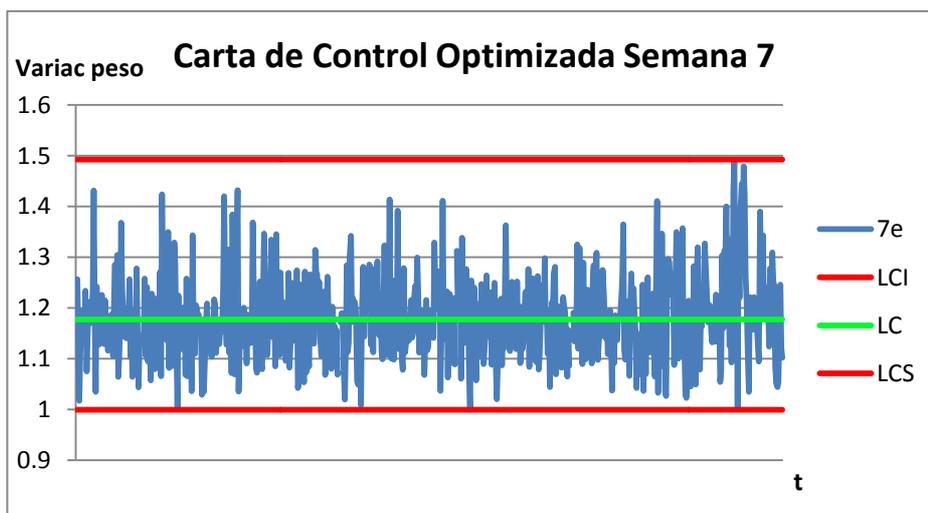


Figura 175. Carta de control optimizada de la semana 7  
Fuente: Elaboración propia

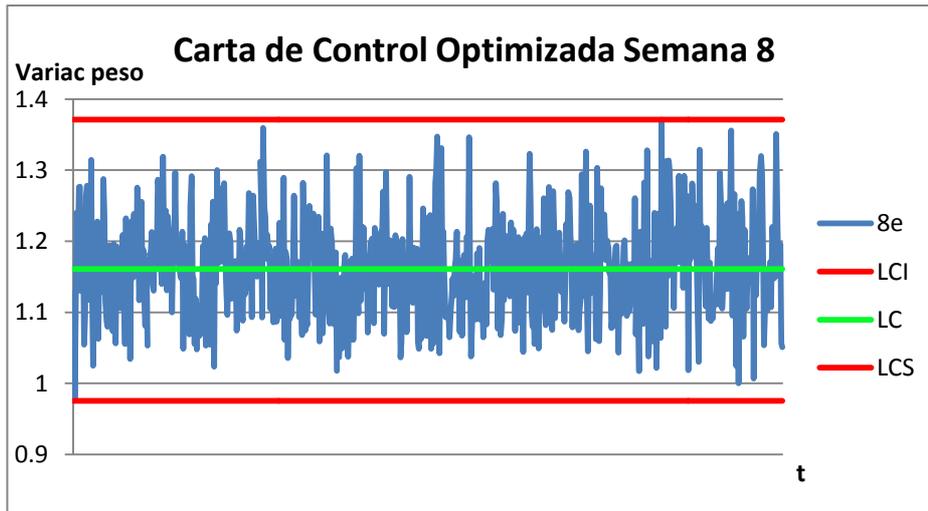


Figura 176. Carta de control optimizada de la semana 8  
Fuente: Elaboración propia

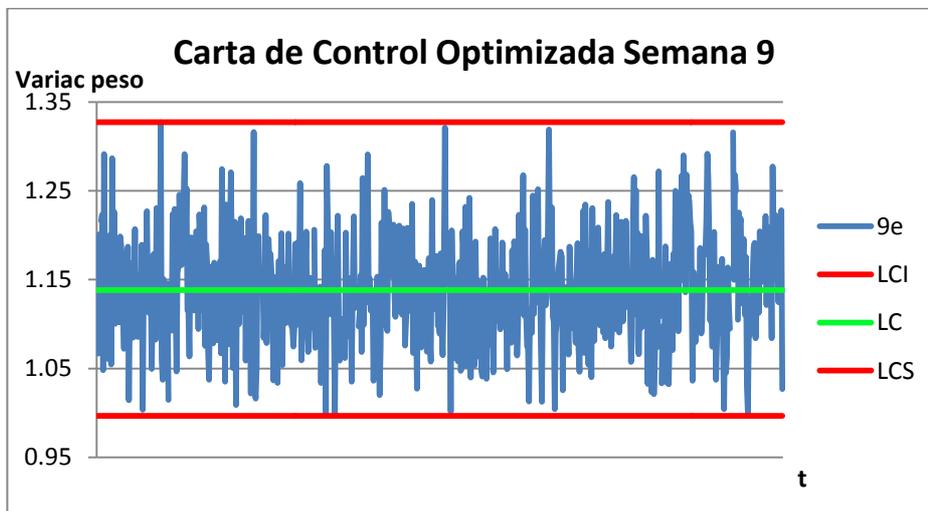


Figura 177. Carta de control optimizada de la semana 9  
Fuente: Elaboración propia

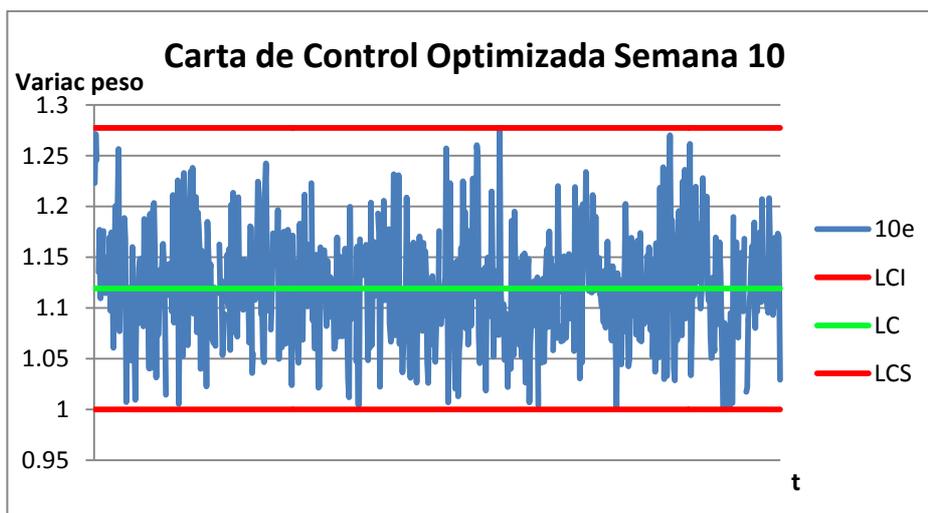


Figura 178. Carta de control optimizada de la semana 10  
Fuente: Elaboración propia

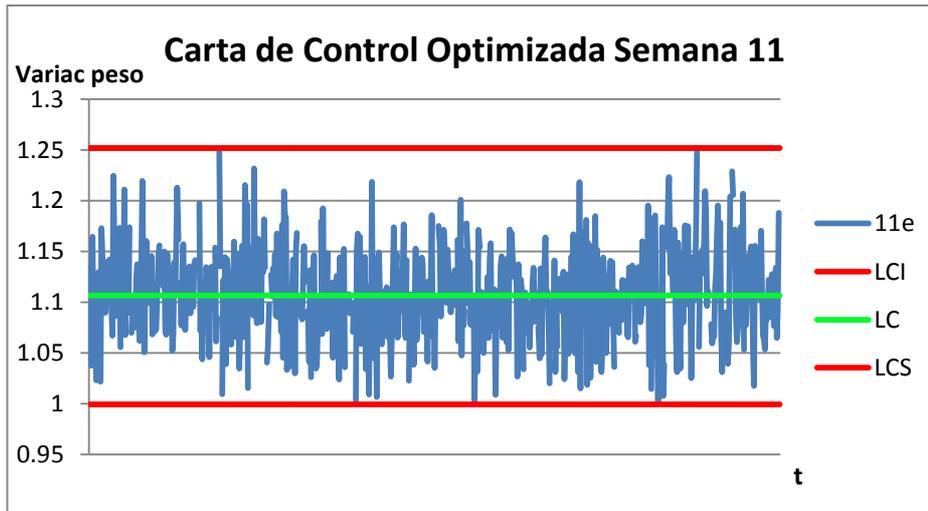


Figura 179. Carta de control optimizada de la semana 11  
Fuente: Elaboración propia

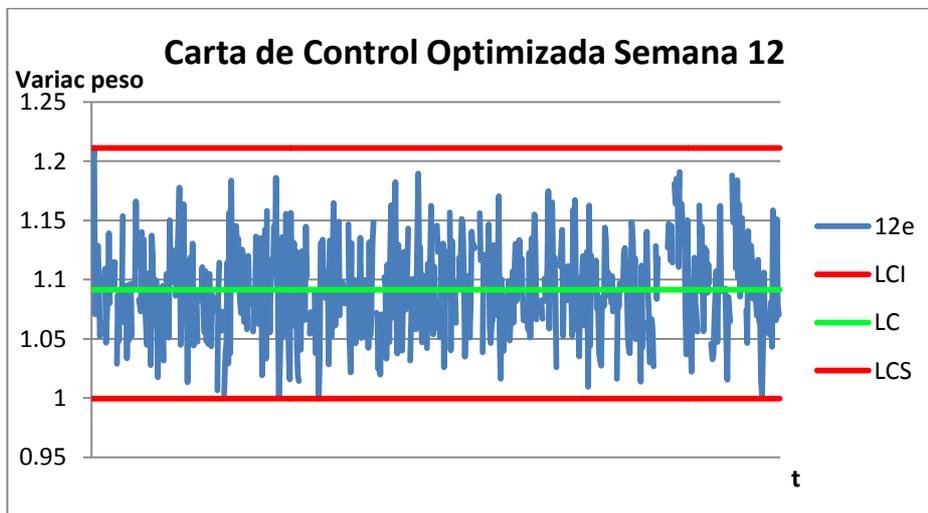


Figura 180. Carta de control optimizada de la semana 12  
Fuente: Elaboración propia

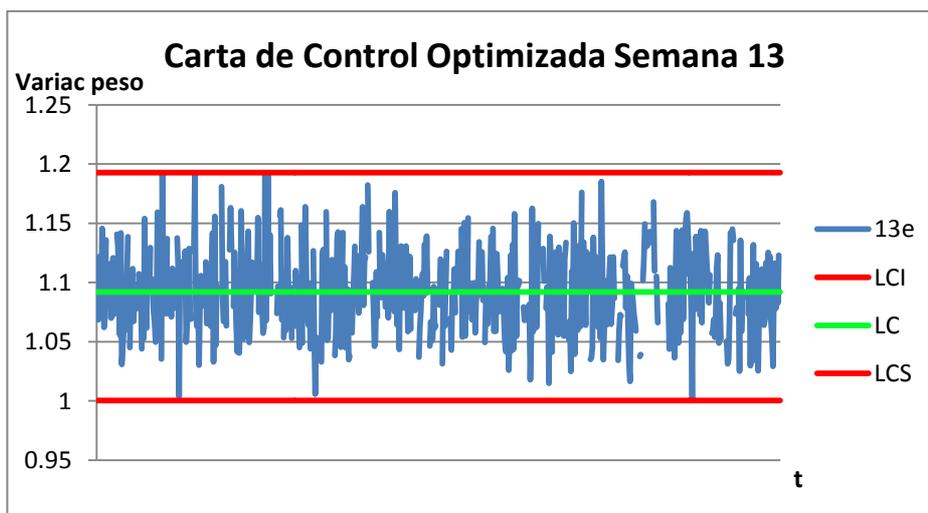


Figura 181. Carta de control optimizada de la semana 13  
Fuente: Elaboración propia

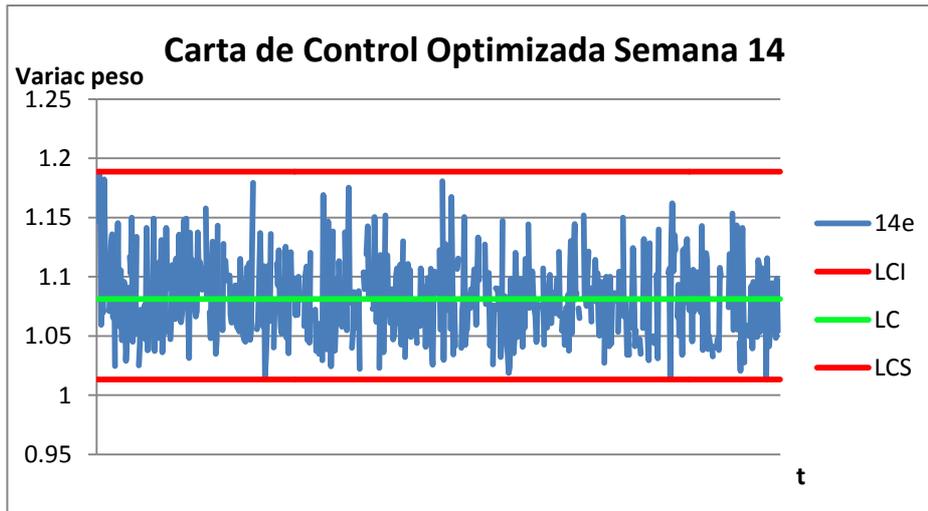


Figura 182. Carta de control optimizada de la semana 14  
Fuente: Elaboración propia

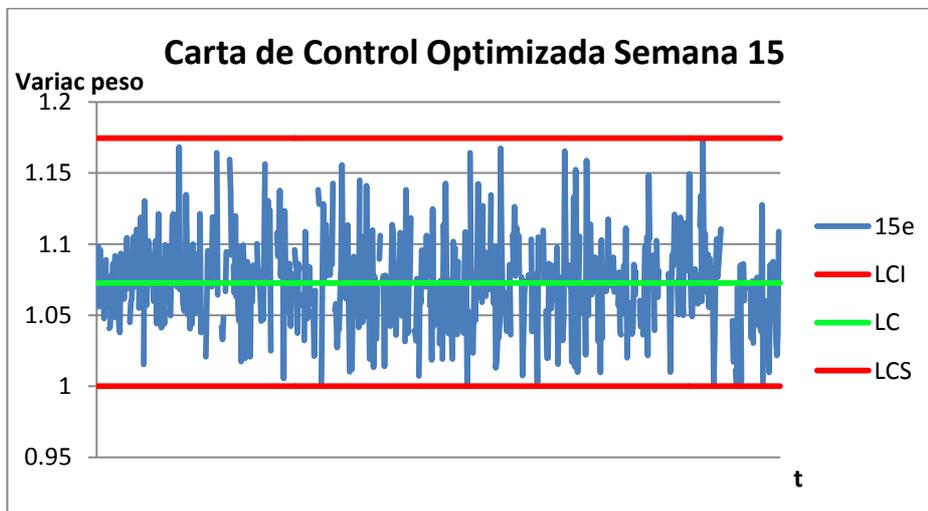


Figura 183. Carta de control optimizada de la semana 15  
Fuente: Elaboración propia

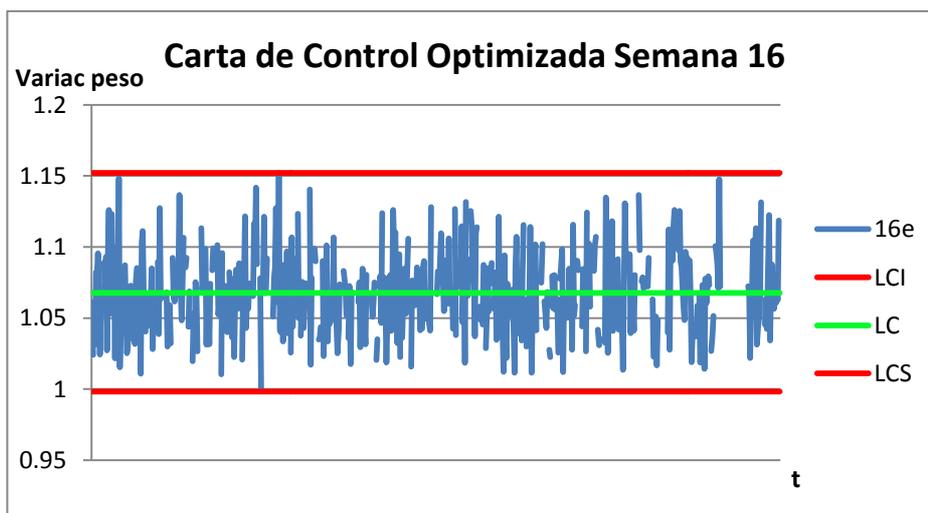


Figura 184. Carta de control optimizada de la semana 16  
Fuente: Elaboración propia

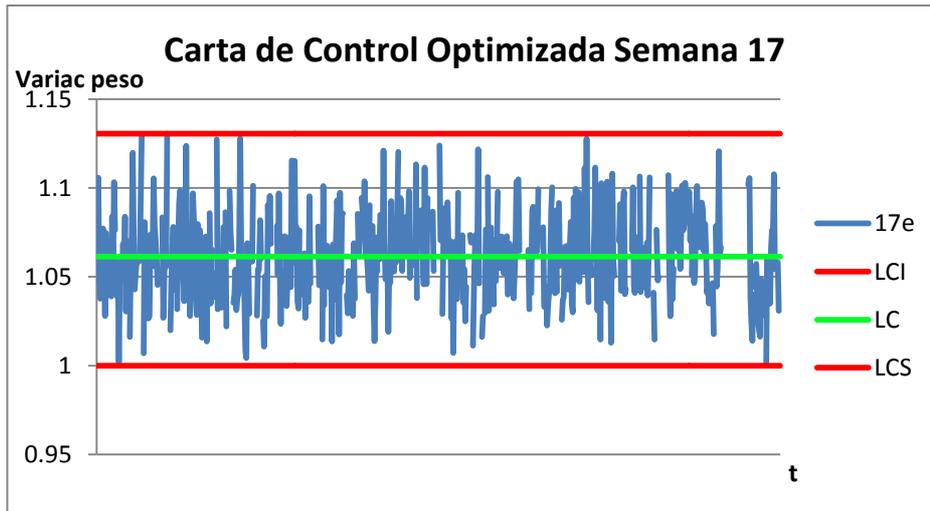


Figura 185. Carta de control optimizada de la semana 17

Fuente: Elaboración propia

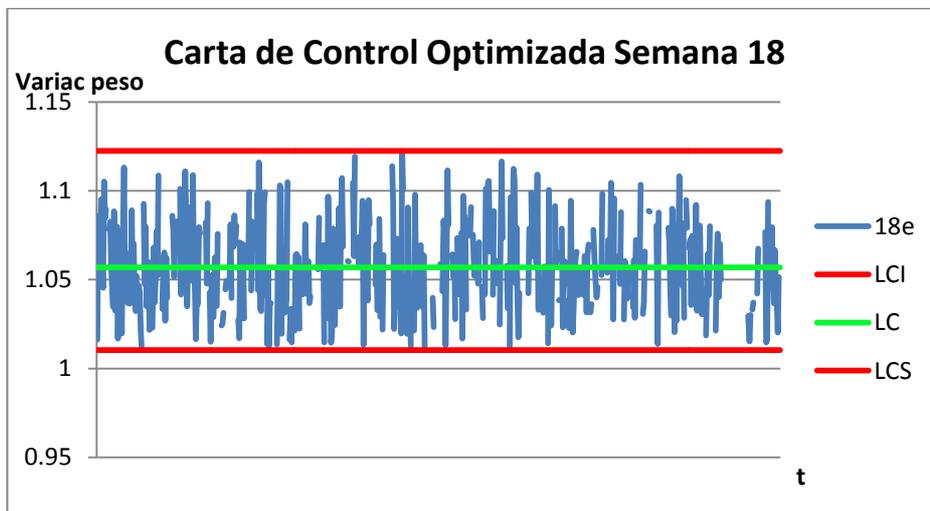


Figura 186. Carta de control optimizada de la semana 18

Fuente: Elaboración propia

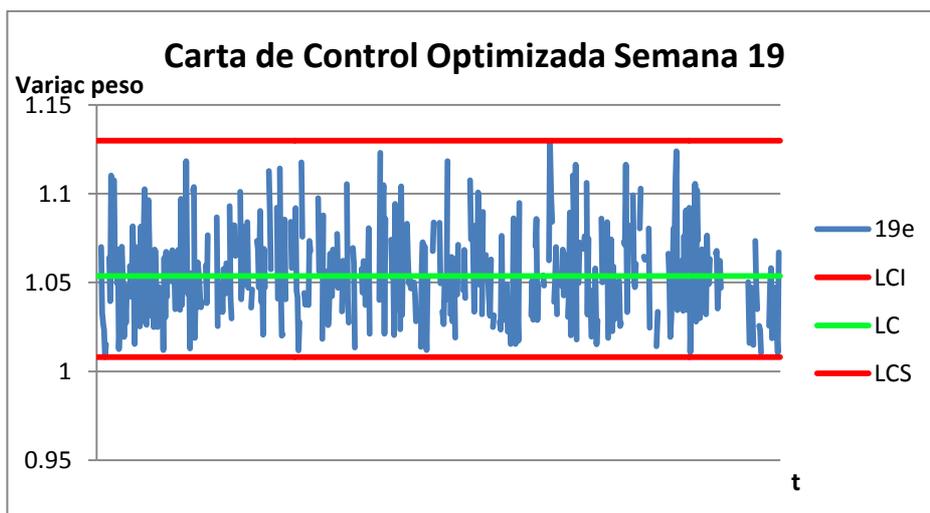


Figura 187. Carta de control optimizada de la semana 19

Fuente: Elaboración propia

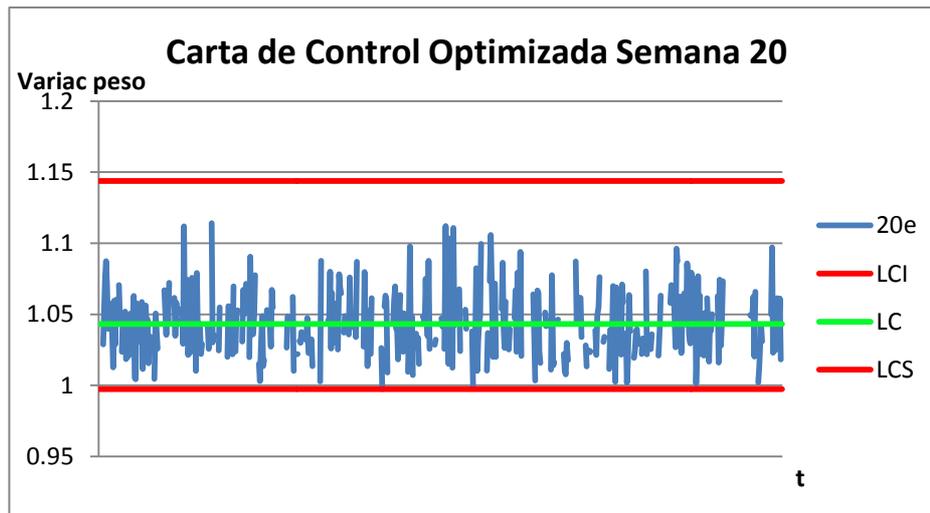


Figura 188. Carta de control optimizada de la semana 20

Fuente: Elaboración propia