

Simulación de un Sistema de Colas en un Restaurante de Comida Rápida

Anthony David Fuentes Calvo
Carlos Antonio Murcia Mora

29 de enero de 2026

1. Configuración del Modelo

Los costos por servidor utilizados en la simulación fueron:

- Freidora: \$200
- Caja: \$500
- Refrescos: \$750
- Pollo: \$100

La distribución de llegadas se modeló como una distribución exponencial con media de 1 minuto. Las distribuciones de servicio fueron:

- Caja: Exponencial (media = 3 min)
- Freidora: Exponencial (media = 2.5 min)
- Refrescos: Exponencial (media = 1.5 min)
- Pollo: Exponencial (media = 4 min)

Los tipos de pedido considerados fueron:

- Solo refresco (30 %)
- Frito y refresco (35 %)
- Pollo y refresco (25 %)
- Combo completo (10 %)

La simulación se ejecutó con 2000 clientes, 200 de calentamiento, 30 réplicas y semilla 12345. El objetivo del sistema fue mantener la espera promedio en cola por debajo de 3 minutos.

2. Validación Estadística de los Generadores

Los generadores de números aleatorios utilizados en la simulación fueron validados mediante pruebas de bondad de ajuste. Las distribuciones continuas fueron evaluadas usando la prueba de Kolmogorov–Smirnov (KS), mientras que la distribución discreta fue evaluada mediante la prueba de ji-cuadrado (χ^2). En todos los casos se utilizó un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Prueba KS – Exponencial

- Estadístico: $D = 0,0079$
- p-value: 0,1633

Conclusión: Como $p\text{-value} > \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula. Los tiempos generados son compatibles con una distribución exponencial con la media especificada, por lo que el generador es válido para modelar llegadas y tiempos de servicio.

Prueba KS – Normal

- Estadístico: $D = 0,00435$
- p-value: 0,8412

Conclusión: No se rechaza la hipótesis nula con amplia holgura. La muestra es altamente consistente con una distribución normal con los parámetros dados, sin evidencia de sesgo o truncamiento.

Prueba χ^2 – Binomial

- Estadístico: $\chi^2 = 8,64$
- p-value: 0,1244

Conclusión: Dado que $p\text{-value} > \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula. Las frecuencias observadas coinciden con una distribución binomial dentro de la variabilidad esperada, validando el modelo discreto de cantidad de órdenes.

Conclusión Global

Se concluye que los generadores de números aleatorios utilizados en la simulación cumplen con las distribuciones teóricas especificadas. En todos los casos los p-values fueron mayores que $\alpha = 0,05$, por lo que no se rechazó la hipótesis nula de ajuste. Esto valida formalmente la base estocástica del modelo.

Nota Técnica

No se aplicaron pruebas de bondad de ajuste sobre los tiempos en sistema ni tiempos en cola, ya que estas variables no son independientes ni siguen las distribuciones originales, sino que dependen de la dinámica del sistema de colas, congestión y paralelismo entre estaciones.

3. Resultados del Caso Base

El tiempo promedio en el sistema fue:

$$W = 11,70 \text{ minutos}$$

La espera total promedio en colas fue:

$$W_q = 2,76 \text{ minutos}$$

Por estación:

- Caja: 1.36 min
- Freidora: 0.05 min
- Refrescos: 0.96 min
- Pollo: 0.72 min

Estos resultados cumplen con el objetivo del sistema, manteniendo tiempos de espera aceptables para los clientes.

4. Análisis del Escenario 2(c): Presupuesto \$3000

La configuración evaluada fue:

$$\{\text{Caja} = 2, \text{ Freidora} = 1, \text{ Refrescos} = 2, \text{ Pollo} = 3\}$$

con un costo total de \$3000. Sin embargo, esta configuración produjo una espera promedio de aproximadamente:

$$W_q \approx 1004,7 \text{ minutos}$$

lo cual indica inestabilidad del sistema. En particular, la estación de freidora presentó una utilización mayor que 1, generando crecimiento ilimitado de la cola.

Una configuración estable alternativa dentro del mismo presupuesto es:

$$\{\text{Caja} = 2, \text{ Freidora} = 2, \text{ Refrescos} = 2, \text{ Pollo} = 2\}$$

con costo total:

$$2(500) + 2(200) + 2(750) + 2(100) = \$3000$$

Esta distribución mantiene todas las estaciones con utilización menor que 1 y reduce significativamente el tiempo de espera promedio.

Resultados Gráficos

Caso A

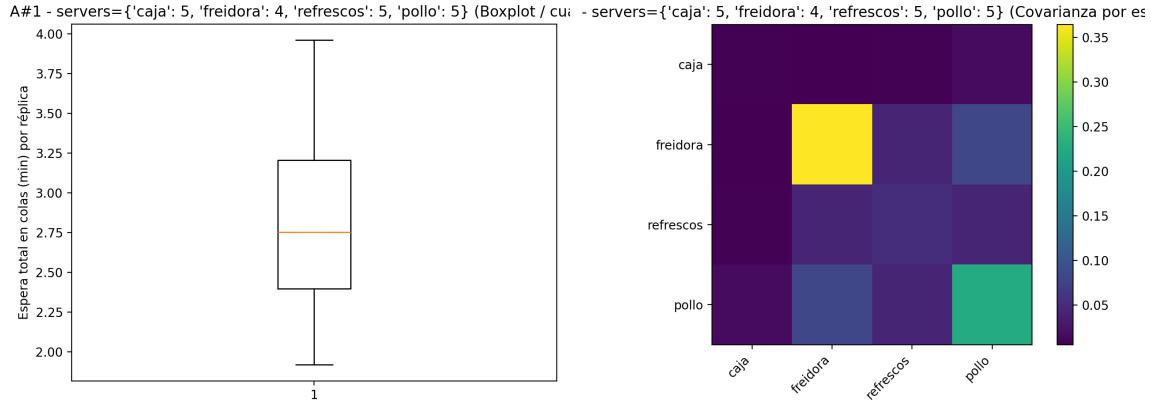


Figura 1: Caso A1: Boxplot y Covarianza

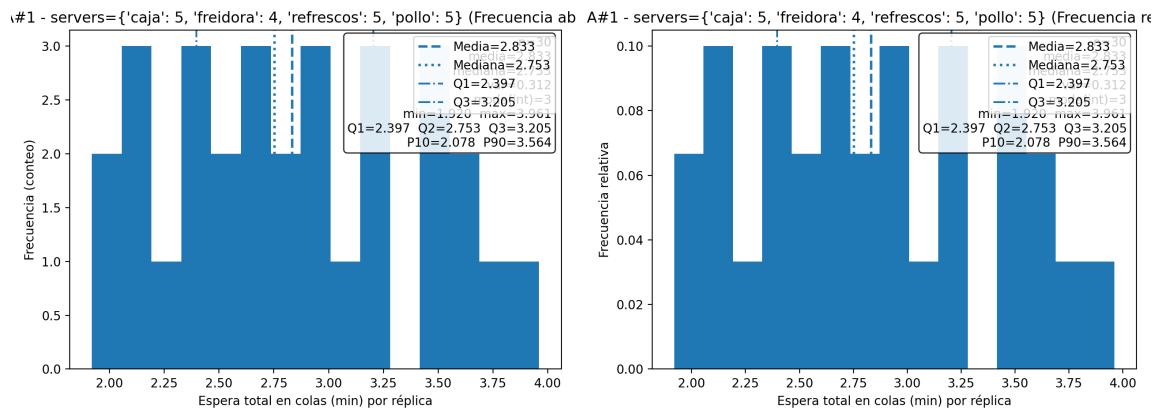


Figura 2: Caso A1: Histogramas absoluto y relativo

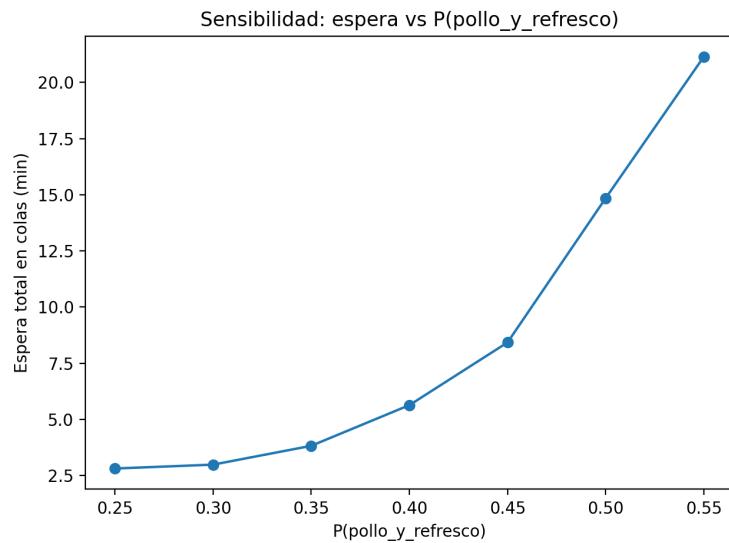


Figura 3: Caso A1: Análisis de sensibilidad (pollo)

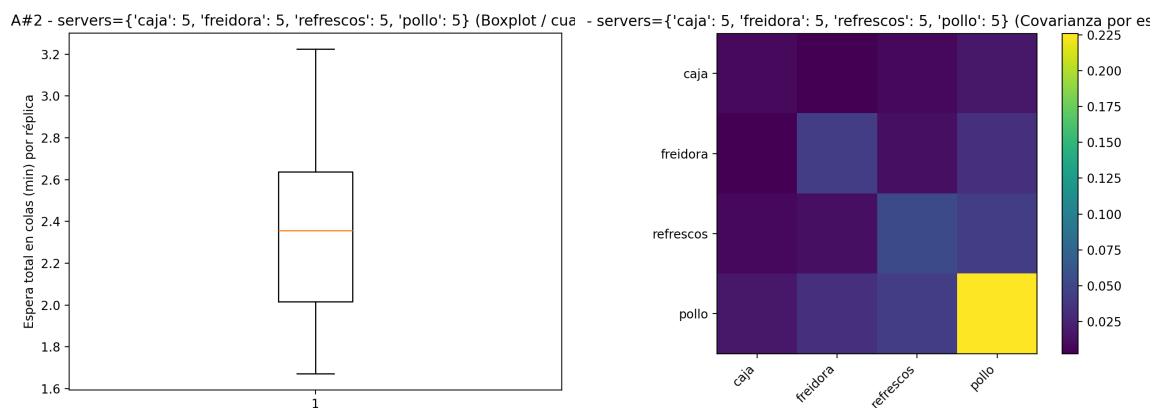


Figura 4: Caso A2: Boxplot y Covarianza

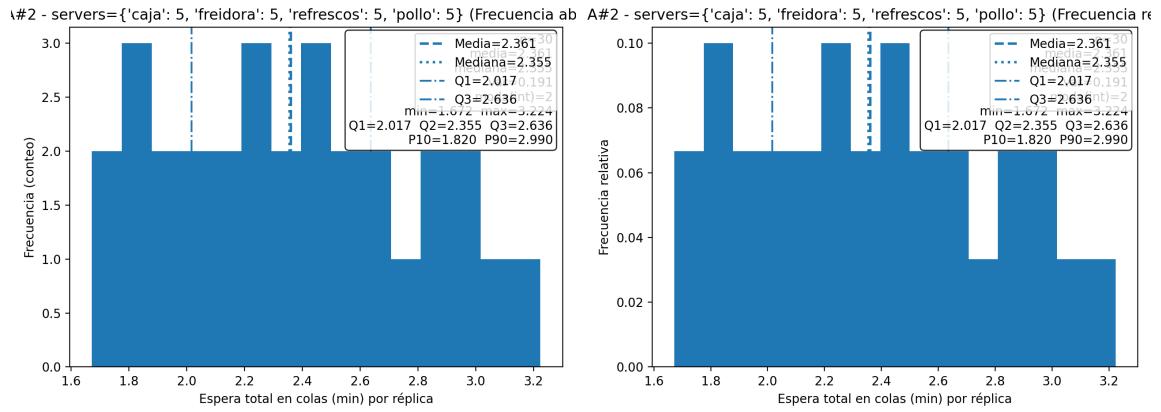


Figura 5: Caso A2: Histogramas absoluto y relativo

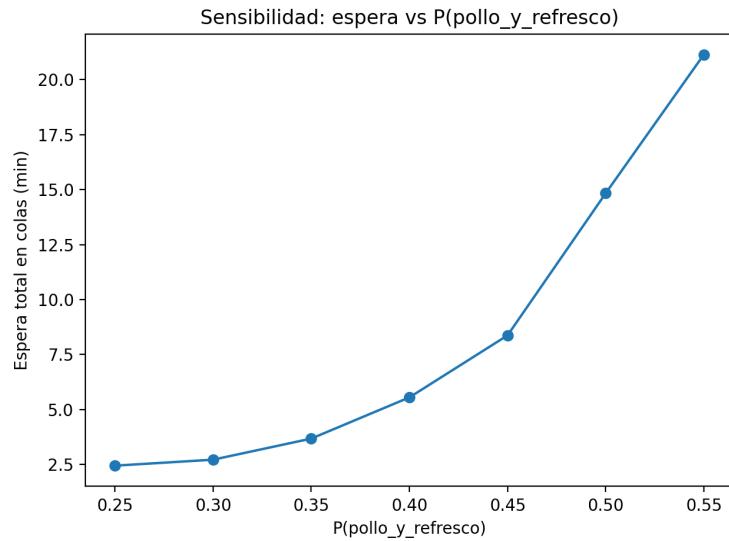


Figura 6: Caso A2: Análisis de sensibilidad (pollo)

Caso B

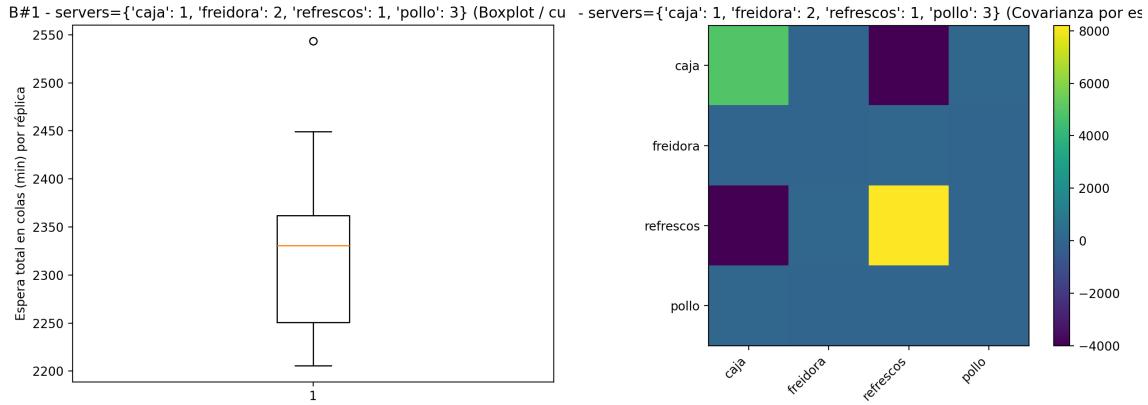


Figura 7: Caso B1: Boxplot y Covarianza

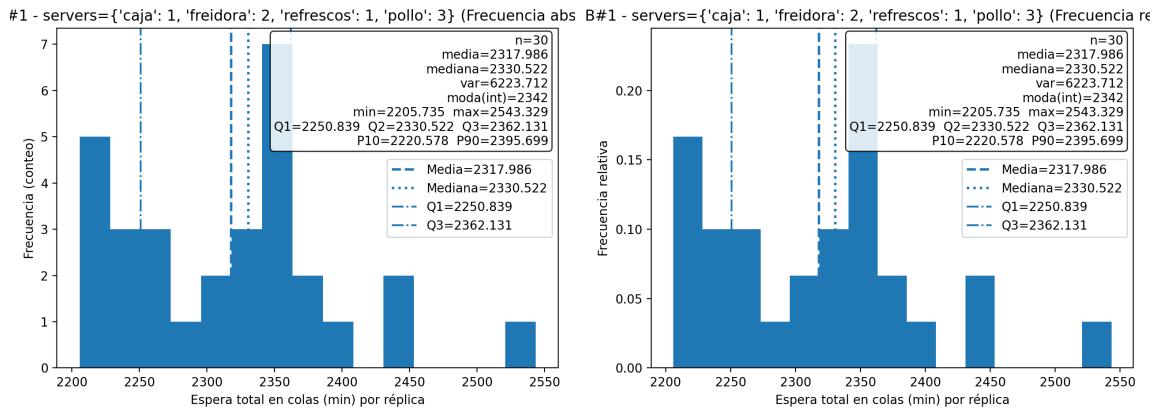


Figura 8: Caso B1: Histogramas absolutos y relativos

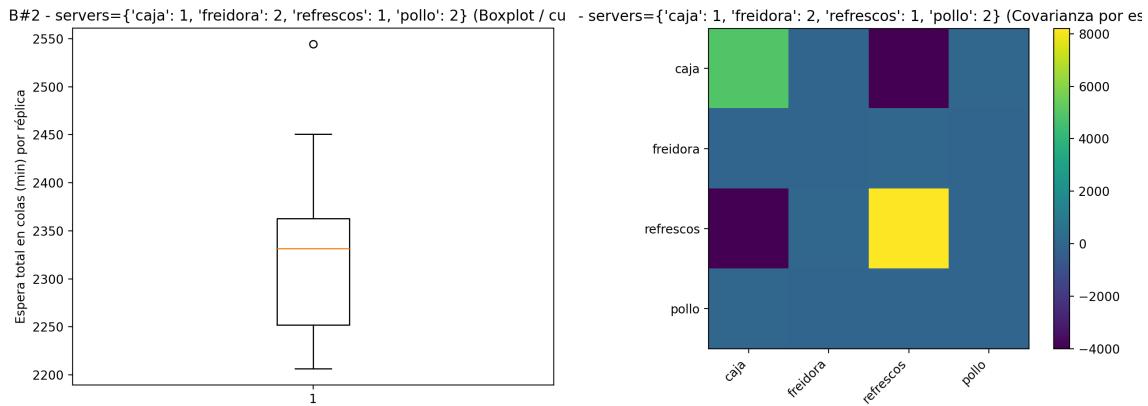


Figura 9: Caso B2: Boxplot y Covarianza

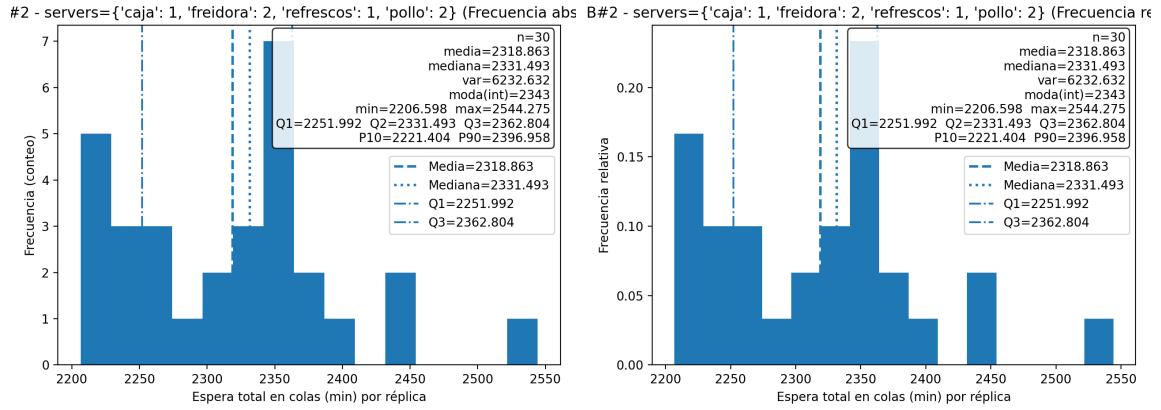


Figura 10: Caso B2: Histogramas absoluto y relativo

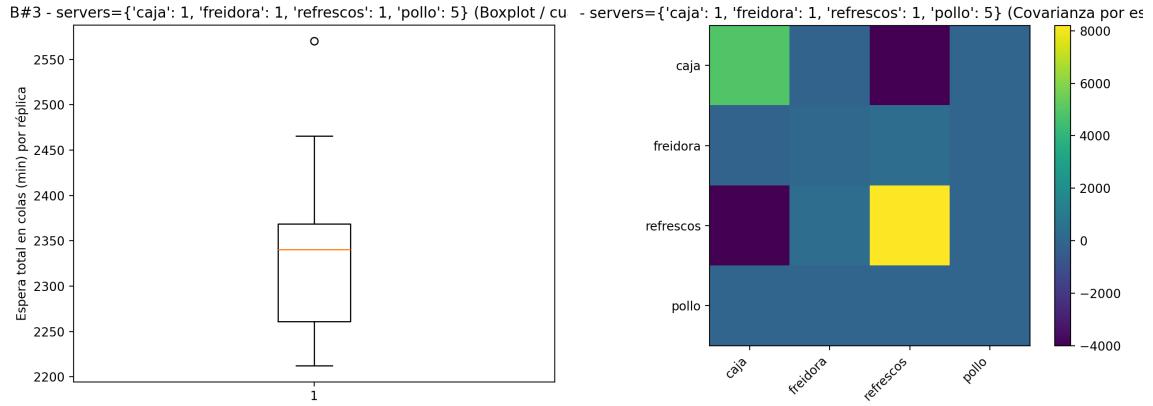


Figura 11: Caso B3: Boxplot y Covarianza

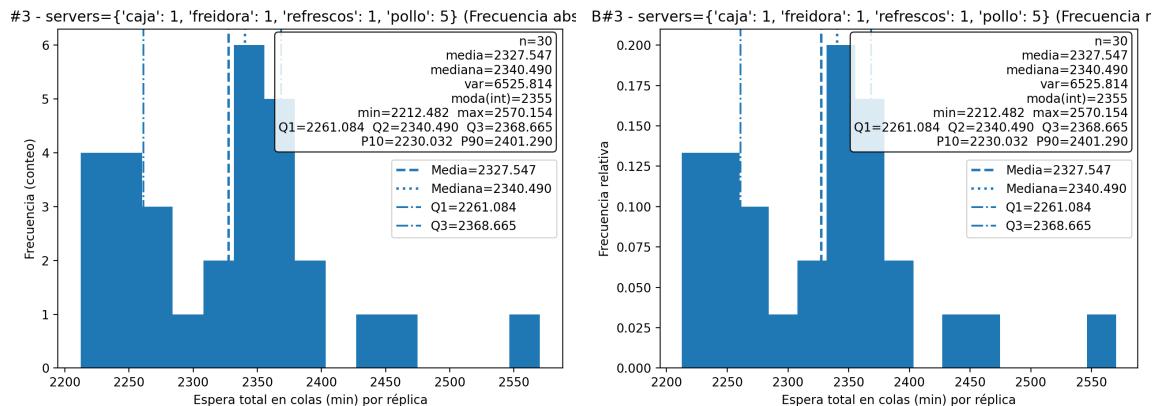


Figura 12: Caso B3: Histogramas absolutos y relativos

Caso C

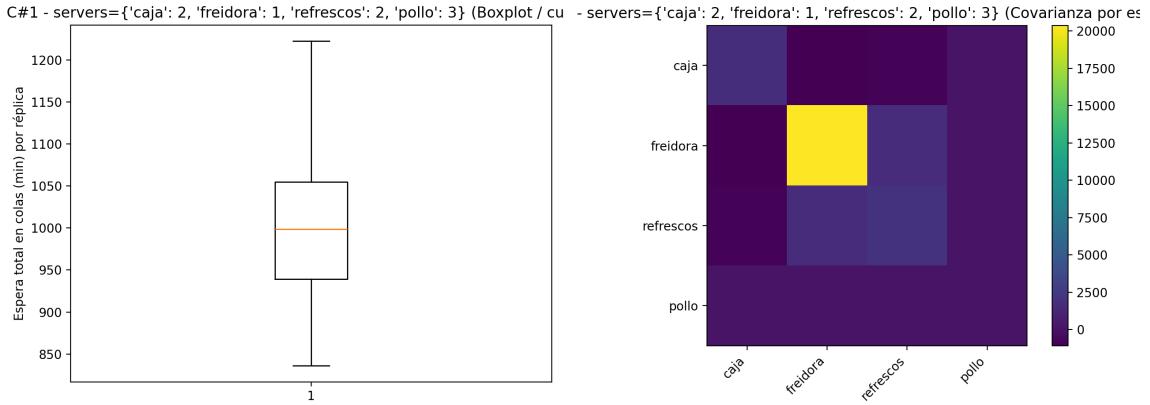


Figura 13: Caso C1: Boxplot y Covarianza

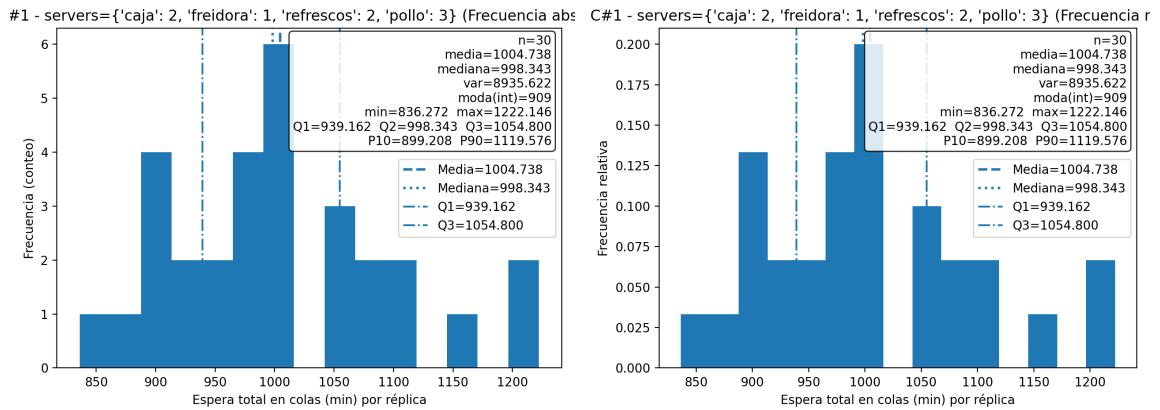


Figura 14: Caso C1: Histogramas absolutos y relativos

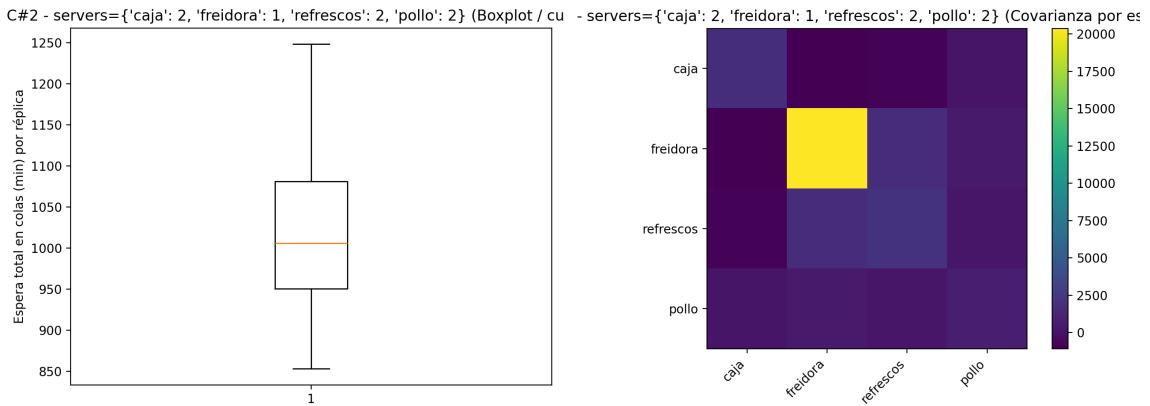


Figura 15: Caso C2: Boxplot y Covarianza

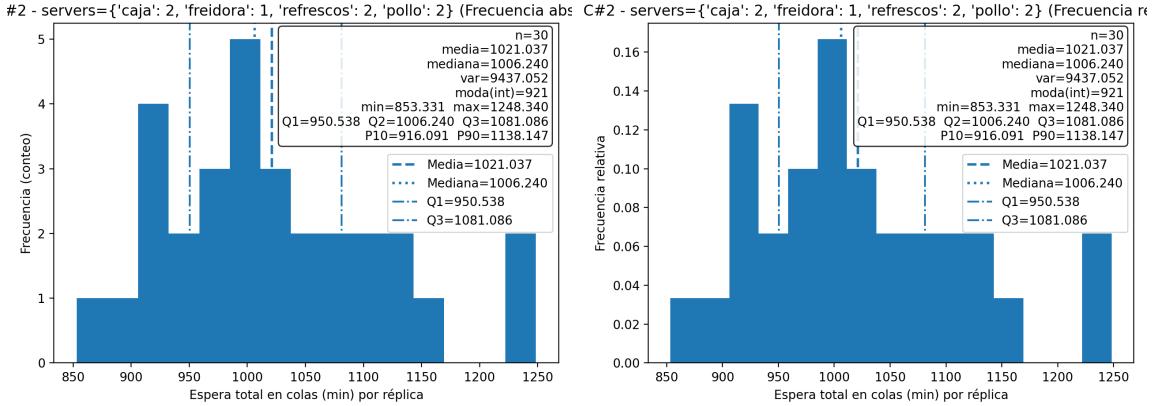


Figura 16: Caso C2: Histogramas absolutos y relativo

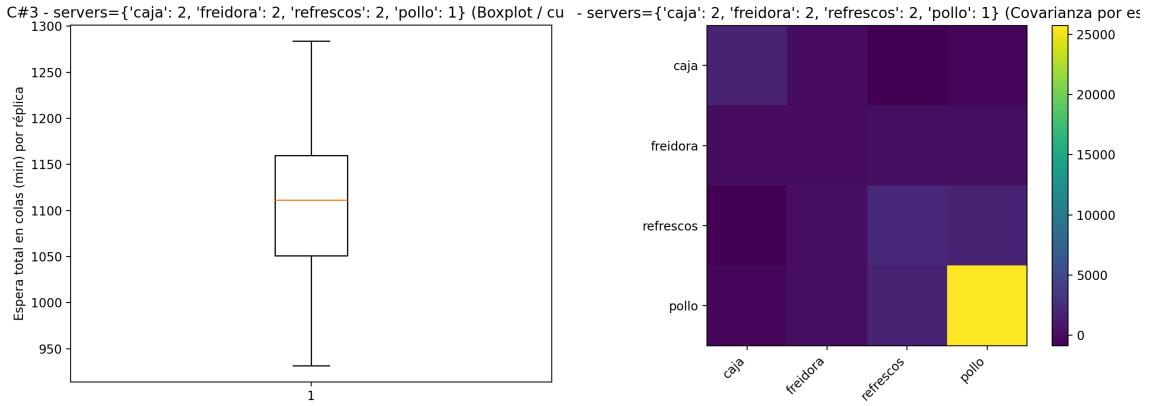


Figura 17: Caso C3: Boxplot y Covarianza

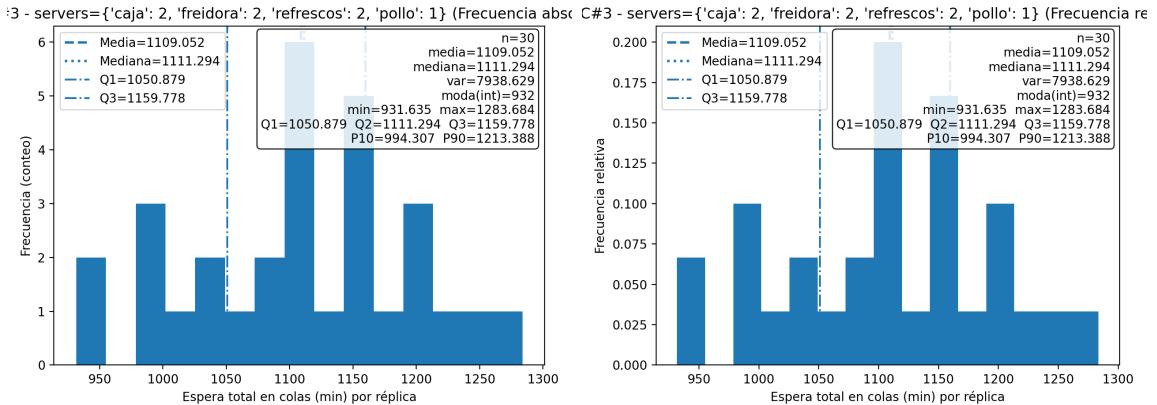


Figura 18: Caso C3: Histogramas absolutos y relativo

Caso D

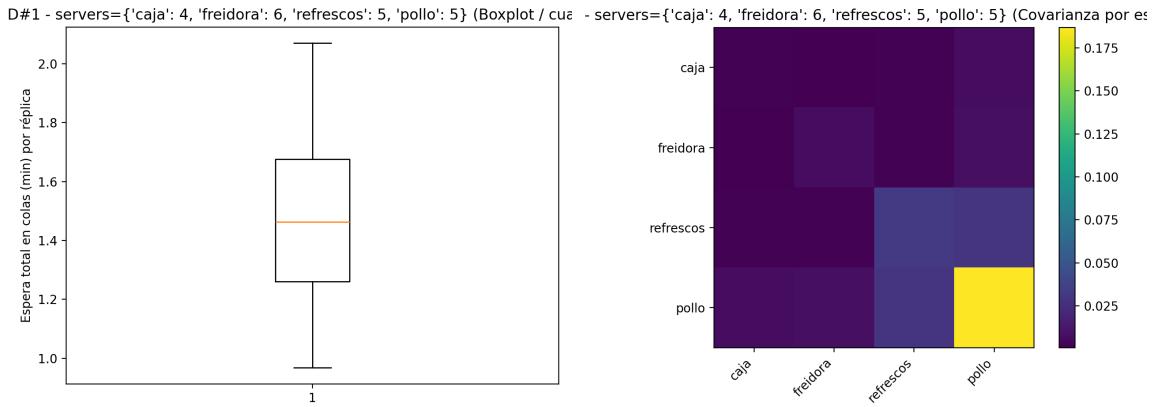


Figura 19: Caso D1: Boxplot y Covarianza

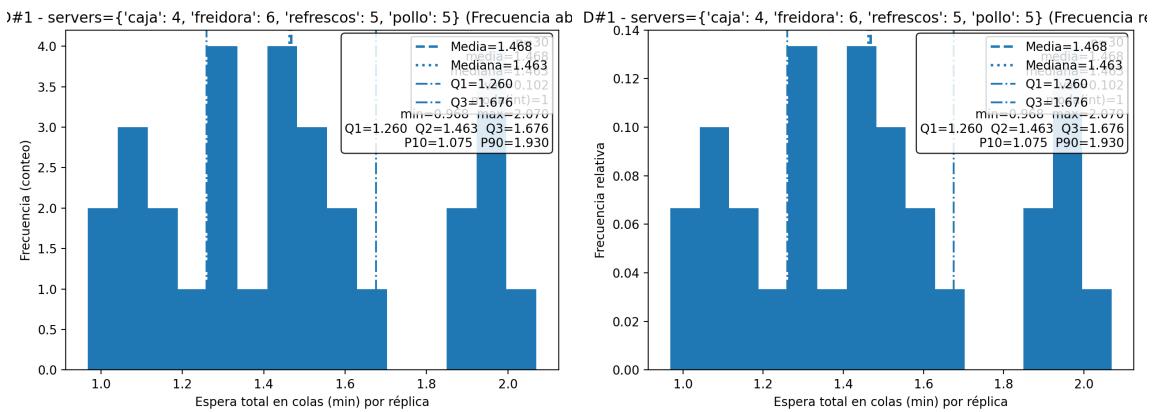


Figura 20: Caso D1: Histogramas absoluto y relativo

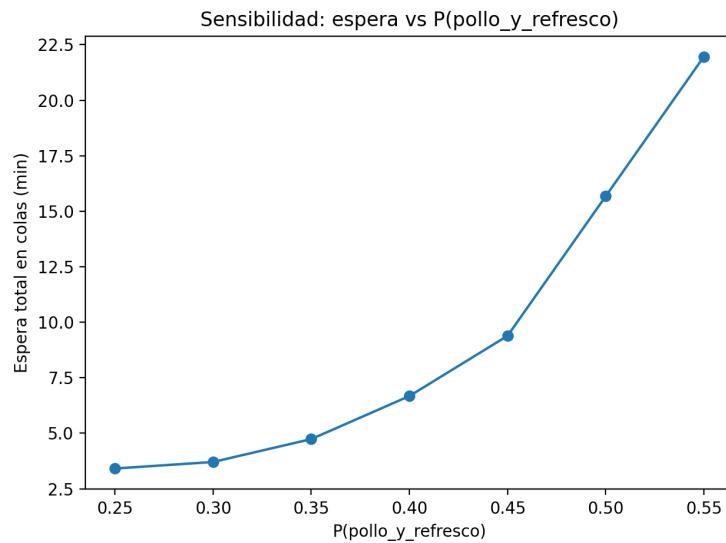


Figura 21: Caso D1: Análisis de sensibilidad (pollo)

Caso E

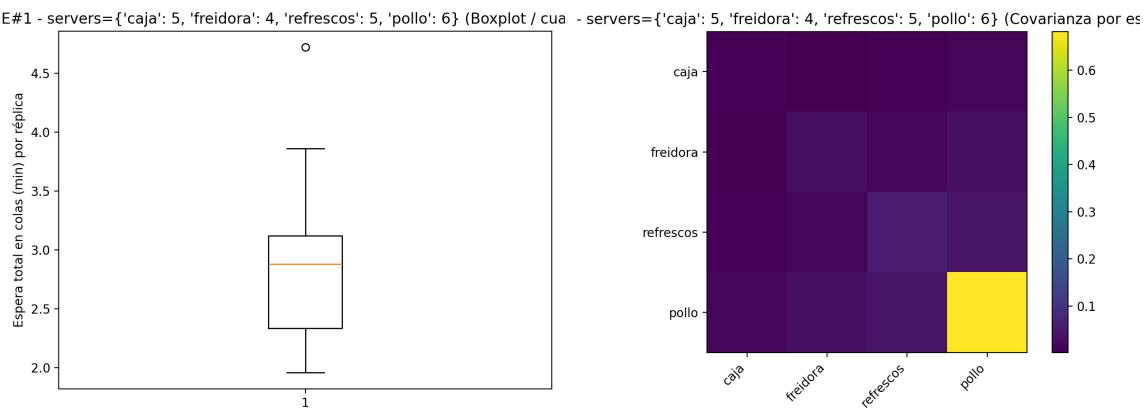


Figura 22: Caso E1: Boxplot y Covarianza

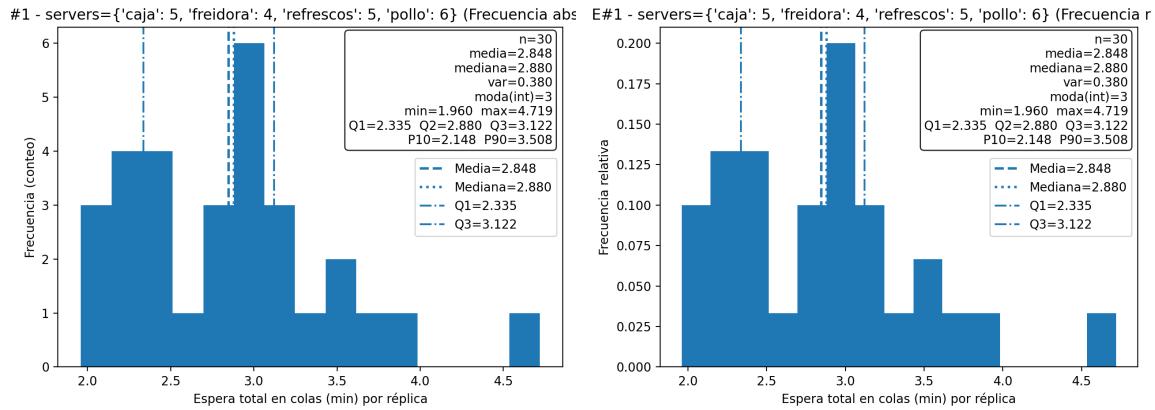


Figura 23: Caso E1: Histogramas absolutos y relativos

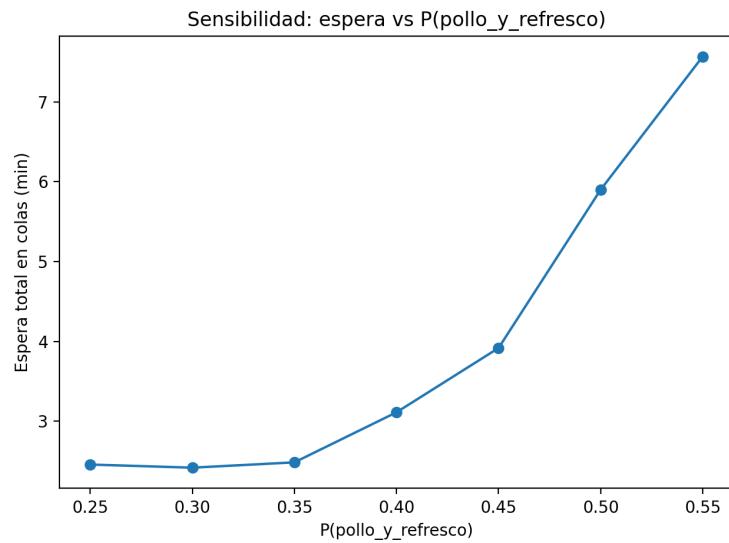


Figura 24: Caso E1: Análisis de sensibilidad (pollo)

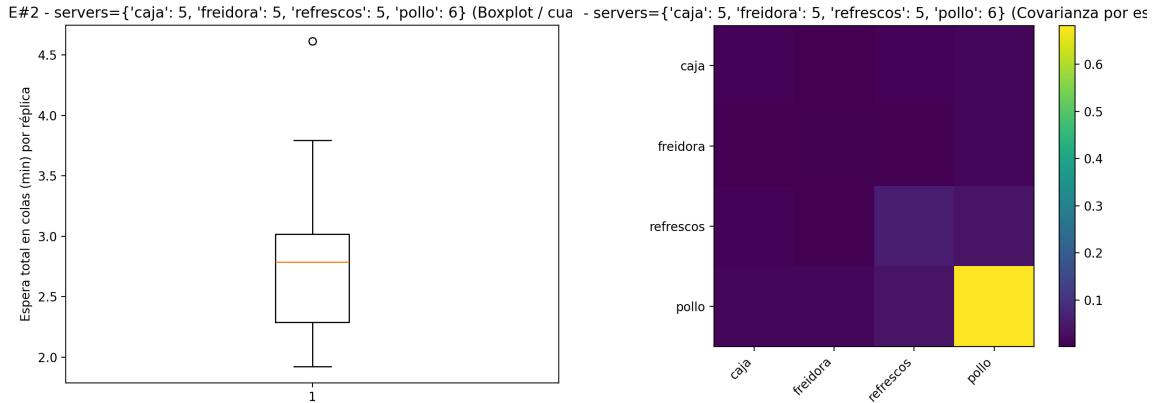


Figura 25: Caso E2: Boxplot y Covarianza

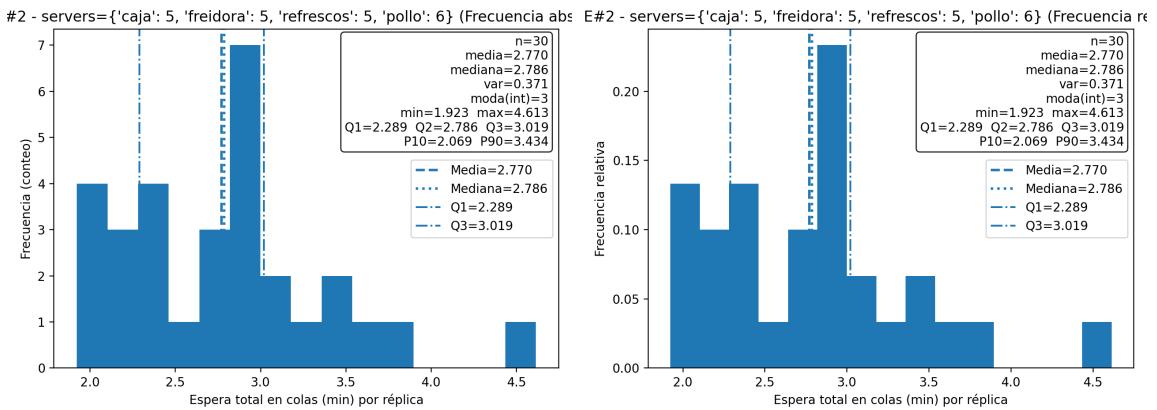


Figura 26: Caso E2: Histogramas absoluto y relativo

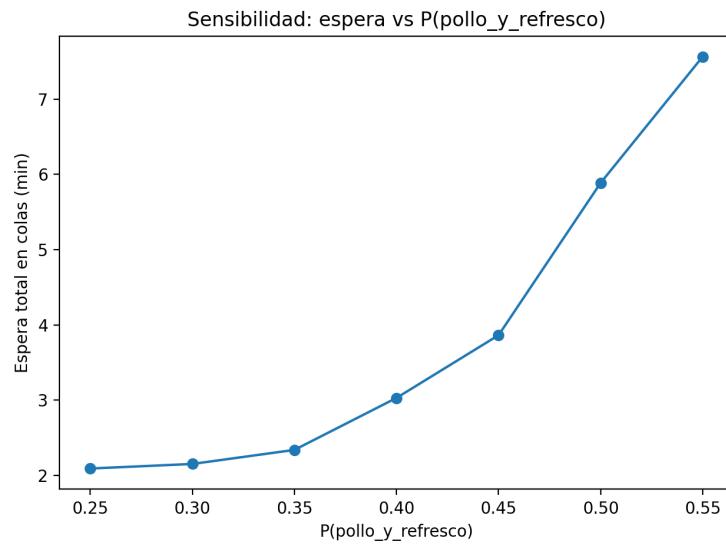


Figura 27: Caso E2: Análisis de sensibilidad (pollo)

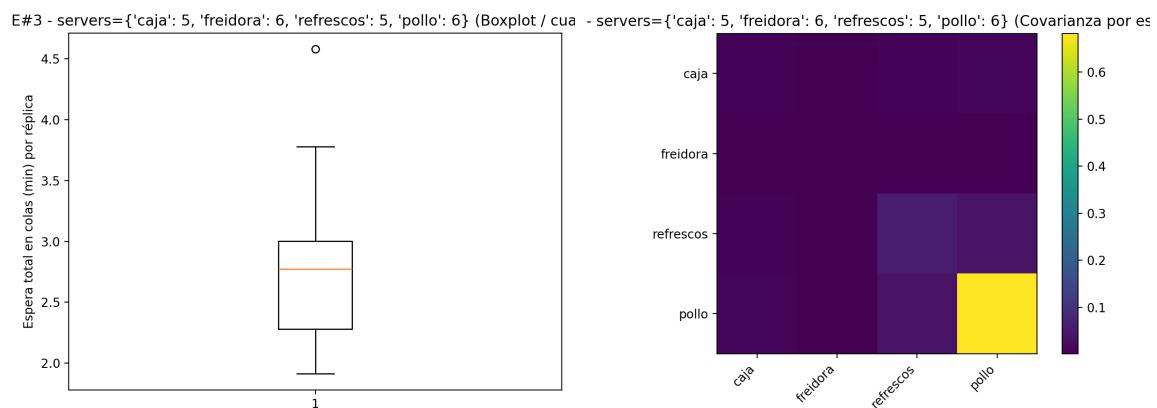


Figura 28: Caso E3: Boxplot y Covarianza

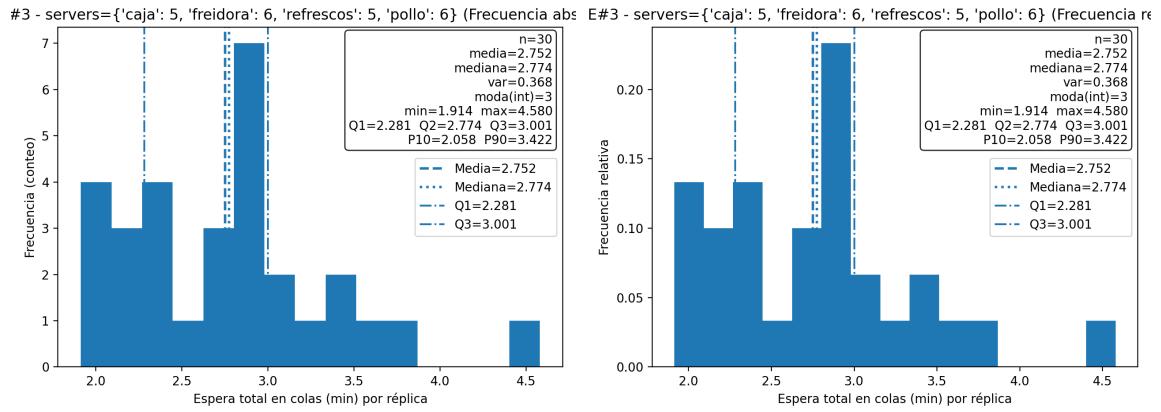


Figura 29: Caso E3: Histogramas absoluto y relativo

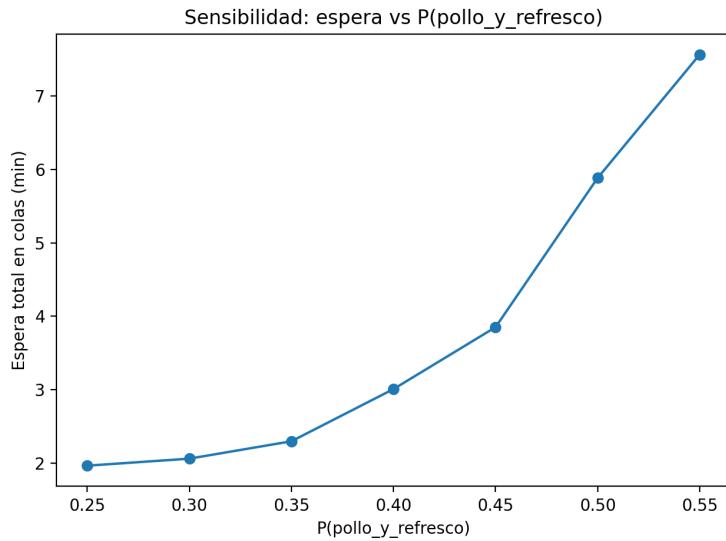


Figura 30: Caso E3: Análisis de sensibilidad (pollo)