

**DE LOS DATOS AL ATRAQUE: PREDICCIÓN ARMA EN LOGARITMOS DE LA  
AFLUENCIA SEMANAL DE CONTENEDORES DE IMPORTACIÓN EN PUERTO  
BOLÍVAR (ECUADOR)****FROM DATA TO BERTHING: ARMA PREDICTION IN LOGARITHMS OF THE  
WEEKLY INFLUX OF IMPORT CONTAINERS IN PUERTO BOLÍVAR  
(ECUADOR)****Recibido:** 10/11/2025 – **Aceptado:** 27/05/2026**Doi:** <https://doi.org/10.56124/corporatum-360.v9i17.005>**<sup>1</sup> Cedillo-Chalaco Luis; <sup>2</sup> Muñoz Briones Juan Carlos; <sup>3</sup> Tabares Cedillo  
Cristina; <sup>4</sup> Hernández Díaz Priscilla Anabel****<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala – Ecuador; <sup>2</sup> Universidad Metropolitana –  
Ecuador; <sup>3</sup> Investigador independiente; <sup>4</sup> Investigador independiente****<sup>1</sup>correo:** [fcedillo@utmachala.edu.ec](mailto:fcedillo@utmachala.edu.ec); **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3142-4485>  
**<sup>2</sup>correo:** [cjmunoz@umet.edu.ec](mailto:cjmunoz@umet.edu.ec); **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3379-4911>  
**<sup>3</sup>correo:** [ctabarestyt@gmail.com](mailto:ctabarestyt@gmail.com); **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-8039-5526>  
**<sup>4</sup>correo:** [priscillahernandez1993@hotmail.com](mailto:priscillahernandez1993@hotmail.com); **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-5200-8593>**RESUMEN**

Los terminales de contenedores operan con variaciones semanales que tensionan muelle, patio y gate; disponer de señales predictivas de corto plazo es crucial para programar recursos y evitar cuellos de botella. En Puerto Bolívar (Machala, Ecuador), la afluencia de importaciones presenta picos y semanas sin operación, lo que exige modelos claros y auditables. Objetivo: estimar y validar un esquema parsimonioso de pronóstico semanal para la atención de contenedores de importación, útil para la gestión operativa. Metodología: se trabajó con observaciones semanales entre agosto de 2021 y mayo de 2025; se aplicó una transformación logarítmica para estabilizar la varianza y se estimó un ARMA(1,1) por máxima verosimilitud, utilizando el filtro de Kalman para tratar semanas ausentes. La validación incluyó prueba de estacionariedad, análisis de autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales, contraste de ruido blanco de Ljung-Box, verificación de raíces inversas e inspección de los cuadrados de los residuos para descartar heterocedasticidad condicional. Principales hallazgos: la serie en logaritmos fue estacionaria y de memoria corta; los residuos no mostraron autocorrelación ni efectos ARCH; las raíces AR y MA quedaron dentro del círculo unitario. El ARMA(1,1) capturó la persistencia semanal y amortiguó choques transitorios, ofreciendo predicciones con bandas coherentes. En términos operativos, el esquema permite una actualización semanal continua del pronóstico para coordinar dotaciones, asignación de patio y gestión de gate, aportando una señal accionable y trazable para la planificación del terminal.

**Palabras clave:** ARMA, Disckey-Fuller, Puerto Bolívar, Contenedores, Importación.

**ABSTRACT**

Container terminals face week-to-week variability that strains berth, yard, and gate operations; therefore, short-horizon predictive signals are essential to schedule resources and prevent bottlenecks. In Puerto Bolívar (Machala, Ecuador), import flows display occasional surges and weeks without operations, calling for transparent, auditable models aligned with tactical decision-making. Objective: to estimate and validate a parsimonious weekly forecasting scheme for imported container handling that is directly usable for operational management. Methodology: we used weekly observations from August 2021 to May 2025; the target series was transformed to a logarithmic scale to stabilize variance, and an ARMA(1,1) model was estimated by maximum likelihood, using the Kalman filter to accommodate missing weeks. Validation comprised a unit-root test for stationarity, inspection of autocorrelation and partial autocorrelation functions, the Ljung–Box white-noise test on residuals, verification of inverse roots for stability and invertibility, and checks on the squared residuals to rule out conditional heteroskedasticity. Main findings: the log series was stationary with short memory; residuals showed no serial correlation and no ARCH effects; AR and MA roots lay within the unit circle. The ARMA(1,1) captured weekly persistence and dampened transient shocks, delivering one-step predictions with coherent bands. Operationally, the scheme supports a continuous week-by-week update to coordinate staffing, yard allocation, and gate appointments, providing an actionable, traceable signal for terminal planning.

**Keywords:** ARMA, Disckey-Fuller, Puerto Bolívar, Containers, Import.

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento sostenido del intercambio marítimo ha desplazado el foco desde la mera ampliación de infraestructura hacia la previsibilidad de los flujos, donde la semana operativa se convierte en la unidad decisonal clave. En este entorno, la regularidad con que un terminal procesa contenedores de importación condiciona los costos logísticos, la confiabilidad del servicio y la resiliencia de la cadena de suministro en su conjunto (Feo et al., 2024; Apolinario et al., 2025). La presión por cumplir ventanas operativas estrechas y sincronizar actores heterogéneos realza el valor de contar con señales de demanda oportunas y contrastables.

En los eslabones de importación, pequeñas fricciones informacionales se amplifican en demoras, colas y utilización subóptima de equipos, especialmente cuando la programación se apoya en reglas empíricas y no en pronósticos verificables (Habte, 2022; Yin et al., 2024). La experiencia muestra que una anticipación imperfecta desplaza congestión tierra adentro, eleva costos de inventario y erosiona la confiabilidad percibida por los usuarios.

La literatura especializada converge en tres restricciones persistentes: 1) congestión en patios, 2) asignación ineficiente de grúas y 3) débil coordinación intermodal; todas ellas reducen la capacidad de respuesta ante variaciones abruptas de la demanda (Ahmad et al., 2021; Bergeron et al., 2023; Kim et al., 2022). Allí donde las decisiones descansan en heurísticas locales, los ajustes resultan tardíos y caros, y la volatilidad semanal se traduce en pérdidas de bienestar logístico.

En América Latina, estas tensiones conviven con procesos de modernización heterogéneos y brechas de gestión que dificultan la institucionalización de prácticas predictivas (Yen & Mulley, 2023). La carencia de esquemas formales limita la posibilidad de comparar desempeños, auditar decisiones y escalar aprendizajes entre terminales con estructuras de demanda similares. Frente a este panorama, la vasta literatura propone la modelación de series temporales como instrumento para detectar patrones, anomalías y

estacionalidades con impacto directo en la programación operativa (Ahmad et al., 2021; Vadahni et al., 2024). Estos enfoques, al capturar la dependencia temporal sin sobredimensionar la complejidad, ofrecen una relación costo-beneficio especialmente favorable para la gestión diaria (Chen et al., 2021) y, además, facilitan comparaciones transparentes con reglas empíricas de uso corriente y la fijación de estándares de desempeño que puedan sostenerse y auditarse en el tiempo (Özispa et al., 2024; Zeng et al., 2022).

Por su parte, la evidencia empírica subraya, además, que los beneficios de la previsión no se limitan al perímetro portuario. La coordinación con transporte terrestre, el cumplimiento de tiempos comprometidos y la mitigación de cuellos de botella aguas adentro dependen de señales robustas de carga próxima, particularmente en contextos presupuestarios restringidos donde cada punto porcentual de precisión importa para la eficiencia (Feo et al., 2024; Apolinario et al., 2025). Al mismo tiempo, la comparación entre esquemas simples y prácticas ad hoc constituye un ejercicio de gobernanza: fija estándares, transparenta costos de error y alinea incentivos entre áreas operativas. De este modo, la previsión semanal deviene un mecanismo institucional para reducir incertidumbre y distribuir mejor la escasez.

La importancia de este estudio es, por tanto, simultáneamente práctica y académica: entrega una base predictiva verificable para la programación semanal (reduciendo riesgos de congestión y ociosidad, y mejorando la coordinación con transporte terrestre) y contribuye al debate internacional al documentar, con métricas comparables, el valor incremental de soluciones parsimoniosas frente a reglas empíricas dominantes en contextos de demanda volátil (Özispa et al., 2024; Zeng et al., 2022). En consecuencia, el objetivo es modelar rigurosamente la dinámica de corto plazo de la afluencia semanal de contenedores de importación mediante un esquema autorregresivo de media móvil en logaritmos y derivar pronósticos operativos contrastables, alineados con la escala de decisión portuaria.

## 2. METODOLOGÍA

En esta parte, se presentan los métodos y **metodologías** empleadas durante la investigación, los enfoques y paradigmas a que responde la misma, los instrumentos y técnicas utilizadas. Al propio tiempo, en él se incluyen los principales hallazgos y resultados alcanzados.

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo-exploratorio (Cedillo-Chalaco et al., 2025). La unidad de análisis fue el flujo semanal de contenedores de importación atendidos en el terminal de Puerto Bolívar (Machala-Ecuador). La serie se construyó a frecuencia semanal (lunes-domingo) a partir de registros operativos y cubrió desde la semana 34 de 2021 hasta la semana 19 de 2025. Para estabilizar la varianza y garantizar dominios positivos en el retorno a nivel, se trabajó con la transformación logarítmica  $lc_t = \ln(\text{Containers}_t + 1)$ , práctica estándar en modelación de demanda y conteos logísticos, previa verificación de estacionariedad con pruebas de raíz unitaria y examen visual de la estructura temporal (ACF/PACF), de acuerdo con la metodología de identificación de Box-Jenkins (Goracci et al., 2024; Jhwueng, 2024)

La especificación econométrica se basó en un proceso ARMA no estacional en media. Se propuso y estimó un modelo ARMA(1,1) para la serie  $lc_t$ , sin diferenciación ( $d = 0$ ), empleando máxima verosimilitud con filtro de Kalman para manejar semanas faltantes y obtener verosimilitudes exactas en presencia de huecos temporales; este enfoque es consistente con la literatura aplicada cuando existen observaciones ausentes y la frecuencia es regular (Bayer et al., 2023).

La forma estructural estimable fue:

$$lc_t = \mu + \phi_1 lc_{t-1} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim \text{i.i.d. } (0, \sigma^2),$$

donde  $\phi_1$  y  $\theta_1$  son, respectivamente, los parámetros autorregresivos y de media móvil de primer orden,  $\mu$  es el nivel incondicional y  $\varepsilon_t$  el error innovador. En notación de polinomios en el operador rezago  $L$ , el modelo se expresó como  $\Phi(L)(lc_t - \mu) = \Theta(L)\varepsilon_t$  con  $\Phi(L) = 1 - \phi_1 L$  y  $\Theta(L) = 1 + \theta_1 L$ . La identificación se guió por patrones teóricos de ACF y PACF y por la parsimonia del orden ( $p, q$ ), siguiendo el procedimiento clásico de Box-Jenkins (Nadi y Arefi, 2023; Kumar et al., 2022).

Los supuestos de regularidad del proceso (estacionariedad e invertibilidad) se verificaron comprobando que las raíces de los polinomios  $\Phi(L)$  y  $\Theta(L)$  permanecieran fuera del círculo unitario (condición equivalente a módulos de autovalores menores que uno en los inversos), asegurando estabilidad de la dinámica y representabilidad invertible (Cedillo-Chalaco y Hernández-Díaz, 2025).

Para la validación del modelo econométrico, se aplicó la batería estándar: 1) diagnóstico de ruido blanco de residuos mediante el portmanteau de Ljung-Box en varios rezagos; 2) inspección de ACF/PACF residuales para descartar autocorrelación remanente; y 3) análisis gráfico de raíces inversas para documentar estabilidad e invertibilidad del esquema ARMA. Estas prácticas se alinean con las guías metodológicas contemporáneas para modelos ARMA (Olsen et al., 2025).

Dado que los conteos semanales presentan episodios de varianza cambiante, se evaluó heterocedasticidad condicional de manera explícita sobre los residuos del ARMA(1,1). Para ello se aplicó el contraste de McLeod-Li (portmanteau sobre los cuadrados residuales), que detecta dependencia de segundo orden asociada a efectos ARCH; adicionalmente se revisó la ACF de  $e_t^2$  como verificación visual complementaria. En ausencia de evidencia de efectos ARCH, no se incorporaron términos GARCH, manteniendo la parsimonia del modelo para objetivos de predicción operativa de corto plazo (Petkov et al., 2024).

Finalmente, para la comunicación de pronósticos y su incertidumbre se trabajó en el dominio logarítmico, reportando la predicción puntual de  $l_{c_t}$  y bandas de confianza derivadas del error estándar del pronóstico; cuando se requería comparar con la serie en niveles, se consideró el retorno exponencial con corrección de sesgo de Jensen (smearing) como opción, aunque el análisis principal se mantuvo en logaritmos por estabilidad y trazabilidad (Bayer et al., 2023; Goracci et al., 2024).

### 3. RESULTADOS

En este tipo de investigación se tendrán en cuenta las estrategias de análisis o la orientación analítica que asuman los autores para presentar los resultados. Según el volumen de información que genera la investigación histórica, se debe

seleccionar los conocimientos más relevantes, apoyado con fragmentos de narración o de las observaciones. Pueden incluirse matrices, tablas, esquemas, mapas de significados y otros para explicar las categorías y facilitar la lectura y comprensión de los resultados.

En el periodo analizado, de acuerdo con la Tabla 1, se registraron 188 semanas con una media de 59,7 y desviación estándar de 55,2 (CV= 0,92), lo que denota variabilidad relativa elevada. Por su parte, la mediana fue de 45, junto con Q1= 16 y Q2= 88, que dieron como resultado un rango intercuartílico (RIC)= 72; valores que revelan una masa central amplia y asimetría positiva; el rango (1-289) y un umbral de atípicos  $Q_3 + 1,5 \times RIC = 196$  superado con holgura por el máximo (289), confirman semanas de pico de gran intensidad. Bajo este perfil (CV alto, RIC amplio y extremos super-cuartílicos) se justificó la transformación logarítmica para estabilizar la varianza y atenuar la influencia de episodios extraordinarios antes de la modelación ARMA.

**Tabla 1**

*Estadísticos descriptivos de la atención de containers semanales en Puerto Bolívar-Ecuador.*

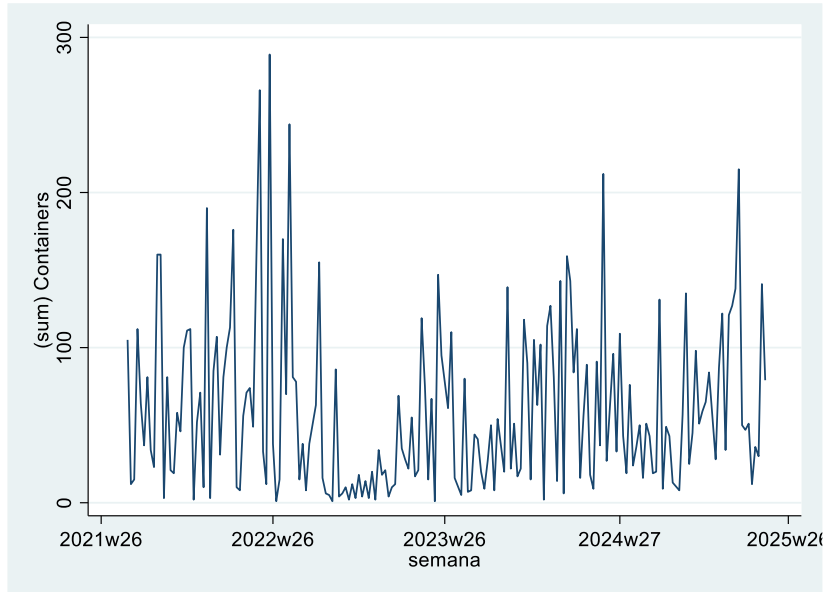
Variable	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Q1	Q2	Q3
Containers	188	59,70	55,17	1	289	16	45	88

*Nota: Estadísticos descriptivos de la atención de containers semanales en Puerto Bolívar-Ecuador*

La trayectoria temporal (Figura 1) confirma ese diagnóstico: la serie exhibe picos concentrados hacia 2022, un valle operativo a inicios de 2023 con semanas de actividad mínima, y reaceleración posterior con oscilaciones más amplias a lo largo de 2024 y primeros meses de 2025. Se observan rachas cortas de alta/ baja atención intercaladas con saltos abruptos, patrón coherente con choques logísticos y ventanas de programación no uniformes. Adicionalmente, existen semanas ausentes en el calendario, que se preservaron como huecos para no inducir señal artificial.

**Figura 1**

*Serie semanal de afluencia de contenedores de importación en Puerto Bolívar.*



Previo a caracterizar la dependencia temporal, se verificó la estacionariedad de la serie transformada  $lc_t$  mediante el contraste Dickey-Fuller; en la que, el estadístico  $Z(t) = -12,481$  ( $p = 0,0000$ ) superó en magnitud los valores críticos al 1-10%, por lo que se rechazó la raíz unitaria y no fue necesaria diferenciación ( $d = 0$ ). Con la serie en logaritmos y estacionaria en niveles, el análisis pudo centrarse en la memoria de corto plazo; en consecuencia, se inspeccionaron los correlogramas ACF y PACF para delimitar órdenes plausibles de un proceso lineal parsimonioso.

**Tabla 2**

*Prueba de raíz unitaria Dickey-Fuller para la serie logarítmica  $lc_t$ .*

Prueba estadística	Valores críticos-		
	1%	5%	10%
Z(t)	-12,481	-3,483	-2,575

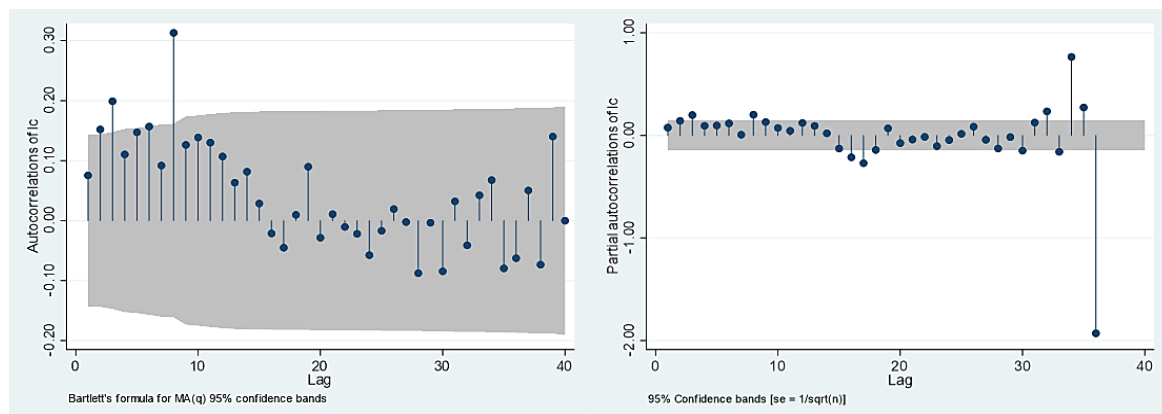
*Nota: Prueba de raíz unitaria Dickey-Fuller*

A vista de lo anterior, la inspección de los correlogramas sobre  $lc_t$  mostró autocorrelaciones positivas en los primeros rezagos con decaimiento suave hasta

alrededor del lag 12 y sin patrón estacional marcado; los picos aislados en rezagos altos aparecen dentro de las bandas o vinculados a la longitud muestral y a semanas faltantes. En paralelo, la PACF permaneció cerca de cero en los primeros rezagos, con leves oscilaciones y sin cortes nítidos que sugerirían órdenes altos; las salidas puntuales en la cola carecen de persistencia. En conjunto, esta evidencia es característica de memoria corta con interacción contemporánea de la perturbación, lo que delimita un proceso lineal parsimonioso de bajo orden. Sobre esa base, el análisis procede a la estimación de un ARMA de primer orden en cada componente; concretamente, se plantea un ARMA(1,1) sobre la serie en logaritmos  $lc_t$ , cuya idoneidad se contrasta en la subsección siguiente mediante criterios de diagnóstico y predictivos.

**Figura 2**

*Correlogramas de  $lc_t$ : ACF y PACF con bandas de confianza.*



Con base en los correlogramas, se procedió a estimar un ARMA(1,1) sobre  $lc_t$  mediante máxima verosimilitud (likelihood exacta con filtro de Kalman para las semanas ausentes). El modelo se especificó como:

$$lc_t = \alpha + \phi_1 lc_{t-1} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1}, \quad \varepsilon_t \sim \text{i.i.d. } (0, \sigma^2),$$

donde  $\varepsilon_t$  representa choques aleatorios semanales (errores idiosincráticos) en la afluencia de contenedores. Los resultados (n=188) indican persistencia de corto plazo elevada:  $\hat{\phi}_1 = 0,947$  (EE=0,053;  $z = 17,94$ ;  $p < 0,001$ ; IC95%: 0,844-1,051). El componente de medias móviles resultó negativo y de magnitud

considerable,  $\hat{\theta}_1 = -0,855$  (EE=0,079;  $z = -10,94$ ;  $p < 0,001$ ; IC95%: -1,008 a -0,702), lo que sugiere que un choque positivo en una semana tiende a revertirse parcialmente en la semana siguiente, amortiguando picos transitorios. El término constante fue significativo ( $\hat{\alpha} = 3,641$ ; EE=0,229;  $p < 0,001$ ), consistente con el nivel medio logarítmico de la serie, y la desviación estándar del error se estimó en  $\hat{\sigma} = 1,081$  (EE=0,066).

En términos operativos, la magnitud de  $\hat{\phi}_1$  implica una semivida aproximada de  $\ln(0,5)/\ln(\hat{\phi}_1) \approx 13$  semanas; es decir, el efecto de un shock sobre  $lc_t$  se reduce a la mitad en torno a un trimestre logístico. A su vez, el signo negativo de  $\hat{\theta}_1$  actúa como mecanismo de amortiguación de las variaciones semanales, generando trayectorias de predicción de un paso con mayor suavidad relativa frente a episodios puntuales de alta afluencia.

**Tabla 3**

*Estimación del modelo ARMA(1,1) sobre  $lc_t$  (máxima verosimilitud).*

Containers		Coefficiente	Error estándar	z	P> z	
	<b>Constante</b>	3,64	0,229	15,89	0,000	<b>Log likelihood:</b> -281.65 <b>Observaciones:</b> 188 <b>Wald chi2(2):</b> 441,18 <b>Prob &gt; chis2:</b> 0,000
ARMA	<b>ar L1.</b>	0,9474	0,0528	17,94	0,000	
	<b>ma L1.</b>	0,8550	0,0782	-10,94	0,000	
	<b>/sigma</b>	1,081	0,0661	16,35	0,000	

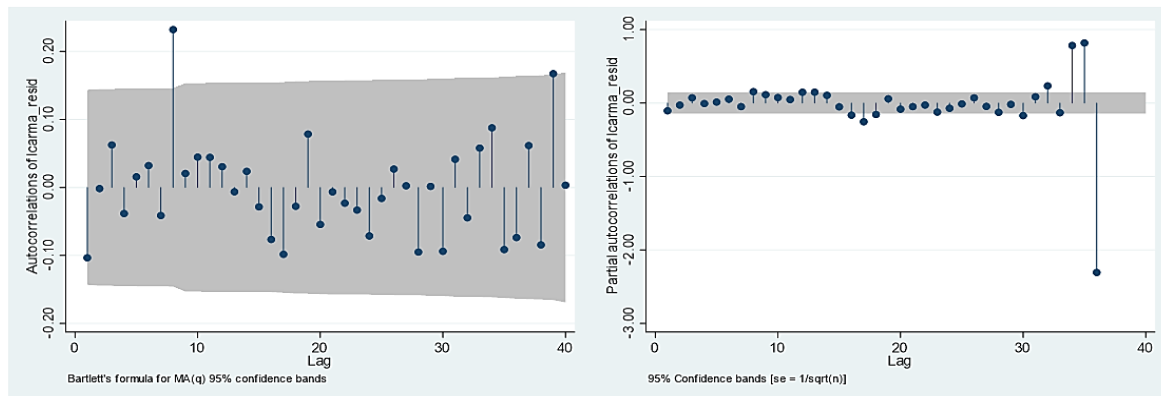
*Nota: Estimación del modelo ARMA(1,1) sobre  $lc_t$  (máxima verosimilitud)*

En continuidad con la estimación, los correlogramas de residuos confirman que el modelo captura la estructura esencial; en la ACF las autocorrelaciones se distribuyen alrededor de cero y, salvo picos aislados en rezagos altos, permanecen dentro de las bandas al 95%, sin decaimientos ni ondas persistentes. De forma complementaria, la PACF concentra sus valores cerca de cero, con leves salidas puntuales en la cola que carecen de continuidad. Este patrón es compatible con residuos próximos a ruido blanco, es decir, sin dependencia remanente de corto plazo una vez controlada la memoria con el ARMA(1,1). Coherentemente, el portmanteau de Ljung-Box aplicado a los residuos (Tabla 4) arrojó Q= 42,71 con

$gl = 40$  y  $p = 0,356$ , por lo que no se rechaza la hipótesis de ruido blanco.

**Figura 3**

*Diagnóstico del ARMA(1,1): funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de residuos.*



La verificación de raíces inversas confirmó (Tabla 4) la estabilidad e invertibilidad del ARMA(1,1): los módulos fueron 0,947449 (AR) y 0,8549697 (MA), ambos dentro del círculo unidad (Figura 4). Ello implica un proceso estacionario con persistencia alta pero finita; el efecto de un choque se atenúa geoméricamente con semivida cercana a 13 semanas, mientras que el término MA ejerce un amortiguamiento de perturbaciones transitorias. En conjunto con el Ljung-Box  $Q(40) = 42,71$ ,  $p = 0,356$  y correlogramas de residuos planos, los resultados sostienen un modelo parsimonioso, estable e invertible, idóneo para pronóstico operativo semanal.

**Tabla 4**

*Diagnósticos del ARMA(1,1): estabilidad (raíces inversas AR), invertibilidad (raíces inversas MA) y pruebas de blancura en residuos y  $e_t^2$  (Ljung-Box).*

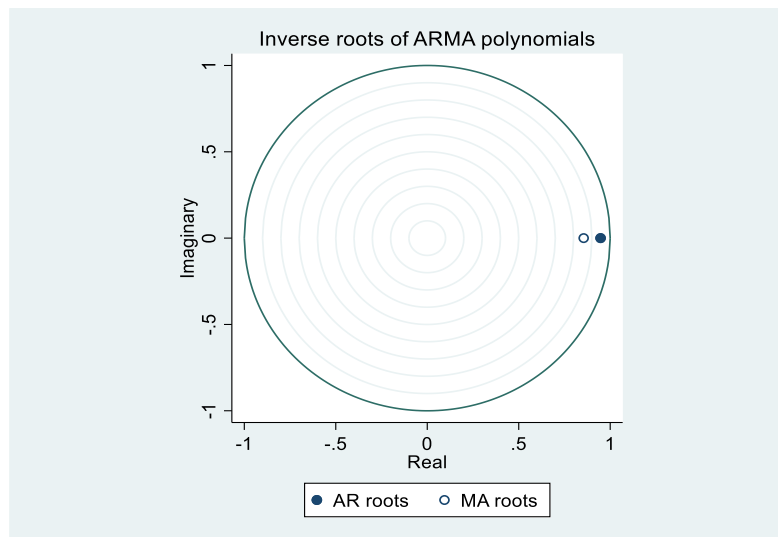
Prueba / Indicador	Estadístico	Parámetros	Interpretación
Raíz inversa AR	0,947	Módulo	$<1 \Rightarrow$ estabilidad (proceso estacionario)
Raíz inversa MA	0,855	Módulo	$<1 \Rightarrow$ invertibilidad (filtro MA válido)
Ljung-Box (residuos)	$Q = 42,71$	$gl = 40; p = 0,36$	No se rechaza $H_0$ : residuos = ruido blanco

Prueba / Indicador Estadístico	Parámetros	Interpretación
Ljung-Box (cuadrados de residuos $e_t^2$ )	$Q = 38,24$ $gl = 40; p = 0,55$	No se rechaza $H_0$ : sin autocorrelación en $e_t^2$ (sin evidencia de ARCH).

**Nota.** Serie semanal en logaritmos,  $N = 188$  observaciones; rezagos del contraste de ruido blanco  $m = 40$ . Los módulos de las raíces inversas se reportan para los polinomios AR y MA.

**Figura 4**

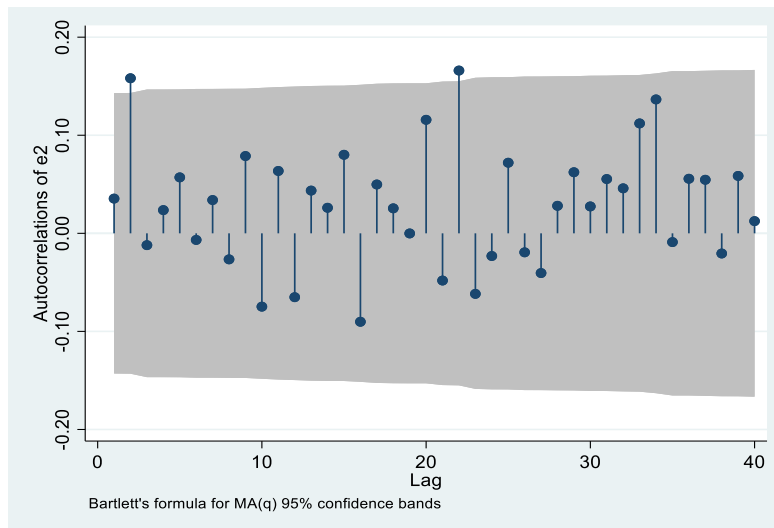
*Raíces inversas del ARMA(1,1): estabilidad e invertibilidad.*



En continuidad con las condiciones de estabilidad e invertibilidad verificadas mediante las raíces inversas, se evaluó la varianza condicional del modelo. El correlograma (Figura 5) de los cuadrados de los residuos no mostró picos significativos dentro de las bandas, y el contraste de Ljung-Box (Tabla 4) aplicado a  $e_t^2$  arrojó  $Q(40) = 38,24$  con  $p = 0,5495$ , lo que impide rechazar la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación en los cuadrados. Por lo cual, no se encontró evidencia de heterocedasticidad condicional tipo ARCH en los errores y, por ende, la especificación ARMA(1,1) estimada sobre la serie en logaritmos puede sostenerse sin un componente GARCH adicional para el horizonte de interés.

**Figura 5**

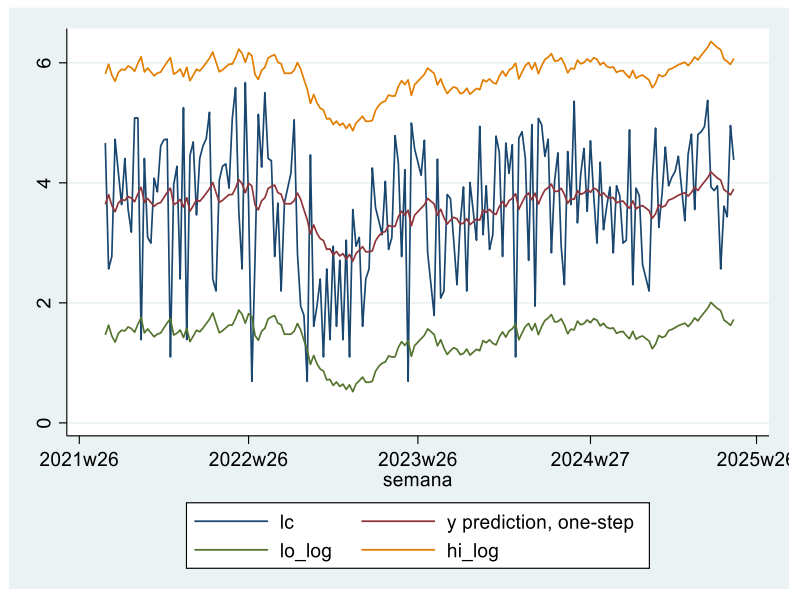
*Correlograma de los cuadrados de los residuos ( $e_t^2$ ) del ARMA(1,1) con bandas de confianza al 95 %.*



Finalmente, la Figura 6 de la serie transformada ( $\ell c$ ) junto con la predicción one-step y las bandas en logaritmos resume la adecuación global del ajuste. La trayectoria suavizada del ARMA(1,1) captura el componente de baja frecuencia y amortigua los picos idiosincráticos propios de semanas operativas atípicas dentro del puerto, mientras que las bandas (construidas en el dominio logarítmico) contienen la variabilidad observada sin sobre-ensanchamiento. En conjunto con el ruido blanco de los residuos y la ubicación de las raíces dentro del círculo unitario, esta evidencia cierra el bloque de validación del modelo y habilita su uso para pronósticos operativos y planificación de recursos en el corto plazo.

**Figura 6**

*Serie semanal en logaritmos ( $\ell c$ ), predicción one-step del ARMA(1,1) y bandas de incertidumbre en el dominio logarítmico.*



A modo de discusión, la dinámica semanal de contenedores de importación en Puerto Bolívar mostró memoria corta y varianza estabilizada en logaritmos, condiciones bajo las cuales un ARMA(1,1) representa una solución parsimoniosa y estable para la señal operativa. Esta elección es consistente con la evidencia internacional que vincula el pronóstico de flujos en puertos con decisiones de asignación de recursos y programación táctica, y que recomienda modelos transparentes cuando el horizonte es de corto plazo y la muestra es moderada (por ejemplo, ARIMA/ARMA y variantes cercanas) (Lee y Bang, 2024; Munim et al., 2023; Svetunkov y Boylan, 2020)

Desde el punto de vista logístico, una señal semanal fiable sirve de base para coordinar muelle, patio y gate en un terminal de escala intermedia como Puerto Bolívar, donde la llegada de naves, las ventanas de atraque y la disponibilidad de transporte terrestre determinan picos y valles operativos. La literatura aplicada en forecasting portuario respalda el valor gerencial de pronósticos con granularidad

semanal/mensual para planificar dotaciones y mitigar cuellos de botella; ello se ha mostrado tanto en estudios de puertos líderes como en comparativos regionales. (Lee y Bang, 2024; Munim et al., 2023).

En términos de validación econométrica, la independencia serial de los residuos y la ausencia de heterocedasticidad condicional sustentan el uso de bandas en el dominio logarítmico y la trazabilidad de las predicciones de un paso. El chequeo de autocorrelación en  $e_t^2$  y el portmanteau tipo Ljung–Box aplicado a los cuadrados son prácticas estándar para descartar efectos ARCH; desarrollos recientes reafirman su utilidad como diagnóstico de varianza, incluso en contextos con estructuras complejas. (Chen et al., 2024).

Asimismo, el principio de parsimonia no excluye contrastar alternativas cuando las condiciones cambian. En presencia de perturbaciones de gran escala (por ejemplo, shocks tipo pandemia o disrupciones logísticas mayores), la literatura reciente muestra que enfoques de descomposición-ensamble o modelos con información exógena pueden ganar terreno; no obstante, en ausencia de esos eventos, los modelos lineales de baja complejidad ofrecen una relación costo/beneficio y una auditabilidad superior (Huang et al., 2022; Zeng y Xu, 2024).

Finalmente, de cara a la práctica en Puerto Bolívar, la adopción de un esquema “rolling” de 1-4 semanas en logaritmos, con tableros de seguimiento y umbrales operativos, es coherente con las mejores prácticas de forecasting en cadenas de suministro y con la necesidad de decisiones rápidas y trazables en contextos portuarios. Este encuadre puede ampliarse (según disponibilidad de datos) hacia formulaciones estado-espacio y/o modelos con regresores operativos, preservando la interpretabilidad gerencial. (Svetunkov y Boylan, 2020).

#### 4. CONCLUSIONES

La investigación demostró que es posible producir una señal predictiva fiable y trazable para la afluencia semanal de contenedores de importación en Puerto Bolívar a partir de una especificación lineal sobria sobre la serie transformada en logaritmos. Este logro no consiste en replicar métricas puntuales ya reportadas, sino en fijar un criterio de lectura del proceso (memoria breve, variabilidad acotada

tras la transformación y coherencia temporal) que habilita decisiones oportunas sin sacrificar interpretabilidad.

Asimismo, el trabajo aporta un marco operativo listo para institucionalizar aspectos como, un flujo de pronóstico de una a cuatro semanas, con visualización de bandas en el dominio logarítmico y umbrales de actuación para muelle, patio y gate. Más allá del desempeño in-sample, la contribución sustantiva radica en convertir la predicción en un mecanismo de coordinación organizacional, alineado con los ritmos semanales del terminal y con la necesidad de anticipar picos sin sobredimensionar capacidad.

De igual manera, se delimita un itinerario de mejora que no pasa por añadir complejidad sin evidencia, sino por enriquecer la señal cuando existan datos pertinentes; como lo son incorporar variables operativas exógenas (programación de naves, calendarios aduaneros, ventanas de camiones) y, de ser el caso, contrastar estacionalidad formal. Este enfoque escalonado permite capturar ganancias marginales de precisión sin perder la transparencia que exige la gestión portuaria.

Por último, el estudio deja establecida una base de reproducibilidad y gobernanza del pronóstico: documentación del ciclo analítico, criterios de validación y reglas de actualización que facilitan auditoría y mejora continua. Sobre esa plataforma, Puerto Bolívar puede transitar hacia un sistema de planeación predictiva más robusto (con backtesting periódico y comparación frente a referencias simples) asegurando que cada avance metodológico se traduzca en eficiencia operativa y mejor uso de los activos del terminal.

## 5. REFERENCIAS

Ahmad, R. W., Hasan, H., Jayaraman, R., Salah, K., & Omar, M. (Diciembre de 2021). Blockchain applications and architectures for port operations and logistics management. *Research in Transportation Business & Management*, 41(100620), 1-17.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100620>

Apolinario, R., Rodríguez, M., Segarra, H., & Caicedo, M. (2025). *La gestión de la logística y el transporte internacional en el Ecuador: estrategias, retos y*

*oportunidades en un mundo globalizado*. Guayaquil-Ecuador: Liveworkingeditorial.

- Bayer, F., Pumi, G., Pereira, T., & Souza, T. (2023). Inflated beta autoregressive moving average models. *Computational and Applied Mathematics*, 42(183), 1-24. doi:<https://doi.org/10.1007/s40314-023-02322-w>
- Bergeron, E., Audy, J.-F. A., & Forget, P. (26 de Abril de 2023). Visibility Performance Assessment: Simulation of a Digital Shadow in a Port. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(927), 1-12. doi:<https://doi.org/10.3390/jmse11050927>
- Cedillo-Chalaco, L., & Hernández-Díaz, P. (2025). Predicción logística portuaria con modelación ARMA: evidencia del flujo de contenedores en el sur del Ecuador. *Revista Científica Episteme & Praxis*, 3(3), 126-135. doi:<https://doi.org/10.62451/rep.v3i3.133>
- Cedillo-Chalaco, L., Solorzano, S., Romero-Solano, R., & Calero-Córdova, R. (2025). Interacciones dinámicas entre transporte y crecimiento económico en Ecuador: un análisis con modelos VAR y causalidad de Granger. *Revista de Estudios Contemporáneos del Sur Global*, 6(19), 1-16. doi:<http://doi.org/10.46652/pacha.v6i19.469>
- Chen, Y., Liu, B., & Wang, T. (2021). Analysing and forecasting China containerized freight index with a hybrid decomposition–ensemble method based on EMD, grey wave and ARMA. *Grey Systems: Theory and Application*, 11(3), 358-371. doi:<https://doi.org/10.1108/GS-05-2020-0069>
- Chen, Y., Zhang, X., Deng, C., & Liu, Y. (2024). Portmanteau test for ARCH-Type models by using high-frequency data. *Axioms*, 13(3), 1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/axioms13030141>
- Feo, M., Botella, A., Martínez, J., Pallardó, V., Requena, F., & Sala, R. (2024). Exploring supply chain and regional resilience through the analysis of the transport dimension. *Case Studies on Transport Policy*, 16, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101216>
- Goracci, G., Ferrari, D., Giannerini, S., & Ravazzolo, F. (2024). Robust estimation for threshold autoregressive moving-average models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 43(3), 579-591. doi:<https://doi.org/10.1080/07350015.2024.2412011>
- Habte, Z. (2022). The role of logistics performance in international trade: a developing country perspective. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 11(1), 53-69. doi:<https://doi.org/10.1504/WRITR.2022.123100>

- Huang, A., Liu, X., Rao, C., Zhang, Y., & He, Y. (2022). A new container throughput forecasting paradigm under COVID-19. *Sustainability*, 14(5), 1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/su14052990>
- Jhwueng, D.-C. (2024). Modeling the phylogenetic rates of continuous trait evolution: An autoregressive–moving-average model approach. *Mathematics*, 13(1), 1-27. doi:<https://doi.org/10.3390/math13010111>
- Kim, S., Lee, P.-Y., Lee, M., Kim, J., & Na, W. (2022). Improved State-of-health prediction based on auto-regressive integrated moving average with exogenous variables model in overcoming battery degradation-dependent internal parameter variation. *Journal of Energy Storage*, 46(103888). doi:<https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103888>
- Kumar, K., Spulbar, C., Pinto, P., Hawaldar, I., Birau, R., & Joisa, J. (2022). Using econometric models to manage the price risk of cocoa beans: A case from India. *Risks*, 10(6), 1-18. doi:<https://doi.org/10.3390/risks10060115>
- Lee, G.-C., & Bang, J.-Y. (2024). Forecasting container throughput of Singapore Port considering various exogenous variables based on SARIMAX models. *Forecasting*, 6(3), 748-760. doi:<https://doi.org/10.3390/forecast6030038>
- Munim, Z., Fiskin, C., Nepal, B., & Hossain, M. (2023). Forecasting container throughput of major Asian ports using the Prophet and hybrid time series models. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 39, 67-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2023.02.004>
- Nadi, M., & Arefi, M. (2023). Hierarchical iterative identification of output nonlinear Box-Jenkins Wiener model with ARMA noise. *ISA Transactions*, 143, 321-333. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.10.006>
- Olsen, A., Djupskås, G., de Lange, P., & Rissstad, M. (2025). Forecasting implied volatilities of currency options with machine. *International Journal of Data Science and Analytics*, 20, 1329-1347. doi:<https://doi.org/10.1007/s41060-024-00528-7>
- Özispa, N., Açık, A., & Baran, E. (2024). 2030 outlook for global cargo: ARIMA predictions for maritime trade. *RESP*, 3(2), 104-116. Obtenido de <https://respjournal.com/index.php/pub/article/view/48/31>
- Petkov, P., Shopova, M., Varbanov, T., Ovchinnikov, E., & Lalev, A. (2024). Journal of Risk Financial Management. *Econometric analysis of SOFIX index with GARCH models*, 17(346), 1-30. doi:<https://doi.org/10.3390/jrfm17080346>
- Svetunkov, I., & Boylan, J. (2020). State-space ARIMA for supply-chain forecasting. *International Journal of Production Research*, 58(3), 818-827. doi:[10.1080/00207543.2019.1600764](https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1600764)

- Vadahni, B., Veysmoradi, D., Basir Abyaneh, M., & Rashedi, M. (1 de Diciembre de 2024). Robust integrated multi-mode scheduling of flexible loading and unloading operations with maintenance services in a port container terminal. *Ocean and Coastal Management*, 259(107481), 1-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107481>
- Yen, B. T., & Mulley, C. (31 de Enero de 2023). Introduction to the themed volume on transport efficiency. *Research in Transportation Business & Management*, 46, 1-4. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2023.100949>
- Yin, J., Khan, R. U., Wang, X., & Asad, M. (15 de Septiembre de 2024). A data-centered multi-factor seaport disruption risk assessment using Bayesian networks. *Ocean Engineering*, 308, 411-421. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118338>
- Zeng, F., & Xu, S. (2024). A hybrid container throughput forecasting approach using bi-directional hinterland data of port. *Scientific Reports*, 14, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-024-77376-9>
- Zeng, M., Liu, R., Gao, M., & Jiang, Y. (01 de Julio de 2022). Demand Forecasting for Rural E-Commerce Logistics: A Gray Prediction Model Based on Weakening Buffer Operator. *Journal of Advanced Transportation*(3395757), 1-8. doi:<https://doi.org/10.1155/2022/3395757>