



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**PRONÓSTICO DE LAS HORAS MENSUALES EN QUE EL
SISTEMA PORTUARIO DE LA BAHÍA QUINTERO SE
ENCONTRARÁ CERRADO, MEDIANTE UN MODELO DE
SERIES DE TIEMPO**

Stefani Javiera Martinez Villarroel

Diciembre 2019

PRONÓSTICO DE LAS HORAS MENSUALES EN QUE EL SISTEMA
PORTUARIO DE LA BAHÍA QUINTERO SE ENCONTRARÁ CERRADO,
MEDIANTE UN MODELO DE SERIES DE TIEMPO

Stefani Javiera Martinez Villarroel

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

FELIPE CASELLI BENAVENTE

Profesor guía

SERGIO BIDART

Revisor

JAIME LEYTON

Revisor

Declaración

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Agradecimientos

Al finalizar esta etapa, veo en retrospectiva lo agradable y reconfortante que es haberme formado como profesional en la escuela de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso, donde sin lugar a duda uno es más que un simple estudiante. Agradezco a mi profesor guía Felipe Caselli quién me apoyo desde un primer momento con este proyecto.

Agradezco a la DIRECTEMAR quien facilito los datos para este estudio fuese posible y a CleverIng por darme las facilidades para realizar este trabajo y confiar en mi como parte de su equipo.

Agradezco a mi madre Lucia Riva quien ha sido el pilar fundamental de mi vida y quien me ha dado su apoyo incondicional.

Agradezco también a mi familia y amigos que me han apoyado en los altos y bajos de este proceso y siempre han estado a mi lado cuando más los necesito.

Feliz y agradecida es como me siento al terminar esta etapa y empezar oficialmente otra con nuevos desafíos profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	1
2	Objetivos.....	3
3	Fundamento teórico.....	4
3.1	Estadística descriptiva.....	4
3.2	Análisis de series de tiempo.....	4
3.2.1	Descomposición de la serie de tiempo.....	5
3.2.2	Técnicas de suavizado.....	5
3.2.3	ARIMA.....	7
4	Metodología.....	11
5	Resultados.....	12
5.1	Análisis datos históricos.....	12
5.2	Desarrollo de un modelo de series de tiempo.....	17
5.3	Pronósticos.....	21
6	Conclusiones.....	25
7	Referencias bibliográficas.....	27
8	Anexos.....	28

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estadísticos descriptivos en horas mensuales	14
Tabla 2 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste ACN.	17
Tabla 3 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste CNM.....	17
Tabla 4 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste CNMF	18
Tabla 5 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste CNMFD	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Bahía de Quintero.....	1
Figura 2 Espectro promedio de frecuencias Nodo Puerto Quintero. Clima medio estacional.	2
Figura 3 Porcentaje de horas por año de cada estado de puerto.....	12
Figura 4 Porcentaje de horas por año de cada estado de puerto.....	13
Figura 5 Horas mensuales del estado ACN	14
Figura 6 Horas mensuales del estado CNM.....	15
Figura 7 Horas mensuales del estado CNMF	15
Figura 8 Horas mensuales del estado CNMFD	16
Figura 9 Horas mensuales del estado PA	16
Figura 10 Datos Observados v/s Pronóstico año 2018 serie ACN	19
Figura 11 Datos Observados v/s Pronóstico año 2018 serie CNM.....	19
Figura 12 Datos Observados v/s Pronóstico año 2018 serie CNMF.....	20
Figura 13 Datos Observados v/s Pronóstico año 2019 serie CNMFD	20
Figura 14 Pronóstico para la serie ACN	21
Figura 15 Pronóstico para la serie CNM	22
Figura 16 Pronóstico para la serie CNMF	23
Figura 17 Pronóstico para la serie CNMFD.....	24

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Respaldo autenticidad base de datos “Situación Marítima” DIRECTEMAR	28
Anexo B Modelos ajustados a serie ACN.....	29
Anexo C Modelos ajustados a serie CNM.....	29
Anexo D Modelos ajustados a serie CNMF	30
Anexo E Modelos ajustados a serie CNMFD	30
Anexo F Parámetros del Modelo ARIMA (2,1,2)(1,1,1) - ACN.....	31
Anexo G Parámetros del Modelo ARIMA (2,1,3)(1,0,1) - CNM	31
Anexo H Parámetros del Modelo ARIMA (2,1,2)(0,1,1) - CNMF	32
Anexo I Parámetros del Modelo ARIMA (0,1,2)(0,1,2) - CNMFD.....	32
Anexo J Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie ACN	33
Anexo K Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie CNM	33
Anexo L Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie CNMF	34
Anexo M Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie CNMFD.....	34

RESUMEN

Este Proyecto de Título tuvo como objetivo generar un pronóstico de las horas mensuales en que el sistema portuario de la bahía Quintero se encontrará cerrado el año 2019 y 2020, mediante un análisis de series de tiempo. De forma tal de facilitar la toma de decisiones para planificar futuras obras de mantención, conservación, mejoramiento y/o modernización de las infraestructuras. Por otro lado, permitió conocer cuáles son los tiempos de cierre de naves mayores y naves menores y así dar pie para su evaluación.

El pronóstico se obtuvo a partir de una estadística de la situación marítima portuaria obtenida de la base de datos de la Capitanía de Puerto Quintero desde enero del año 2009 hasta diciembre del año 2018. En la cual detallaba si el sistema portuario se encontraba:

- Abierto – Condiciones normales.
- Cerrado para movimiento de naves mayores.
- Cerrado para naves menores fuera de la bahía.
- Cerrado para naves menores fuera y dentro de la bahía.
- Paralización de actividades.

En general las series presentaron un régimen estacional anual, donde la mayor cantidad de horas donde el sistema portuario de la Bahía de Quintero se encontrará cerrado es en los meses de mayo a agosto y los meses de septiembre a abril es donde estará mayormente abierto. Lo que es totalmente consecuente con nuestras estaciones del año, donde en otoño-invierno se presentan los mayores eventos climáticos de oleaje y viento, que dificulta el atraque y movimiento de naves mayores y menores, dados los requerimientos de los estudios de maniobrabilidad. En junio es el mes donde se presenta la mayor cantidad de horas de cierre y en enero es cuando está mayormente abierto.

En el 2019 se esperan en total 919 horas de cierre que corresponden a 38 días y el 2020 se esperan en total 690 horas de cierre que se traducen en 29 días que pueden afectar las operaciones del sistema portuario de Quintero.

El 2019 se espera que el sistema portuario de Quintero en promedio mensual se encuentre abierto por condiciones normales 653 horas, cerrado para naves mayores 17 horas, cerrado para naves menores fuera de la bahía 70 horas y para naves menores fuera y dentro de la bahía 16 horas, por lo tanto, hay que considerar holguras de 1 a 3 días en planificaciones de trabajo.

El 2020 se espera que el sistema portuario de Quintero en promedio mensual se encuentre abierto por condiciones normales 673 horas, cerrado para naves mayores 18 horas, cerrado para naves menores fuera de la bahía 74 horas y para naves menores fuera y dentro de la bahía 18 horas, por lo tanto, al igual que el año 2019 también hay que considerar holguras de 1 a 3 días en planificaciones de trabajo.

1 INTRODUCCIÓN

Los puertos desempeñan un rol fundamental para el crecimiento económico nacional, ya que movilizan cerca del 95% de la carga que se importa y exporta.

En la región de Valparaíso, en la zona de la Bahía de Quintero (ver Figura 1), se emplazan una serie de infraestructuras portuarias de gran importancia energética para la zona central, para efecto de este estudio se consideraron que los organismos que componen el sistema portuario de Quintero son el Puerto Ventanas S.A., Terminal Marítimo Oxiquim, GNL Quintero, ASIMAR y los terminales marítimos Multicrudo, LPG, Barcaza, Monoboya Quintero y El bato.

Figura 1 Bahía de Quintero.



Fuente: Google Earth Pro.

Para mantener operativas estas infraestructuras se requiere periódicamente obras de mantención, conservación, mejoramiento y/o modernización, que consideran limpieza de fouling marino en los pilotes, repintado de pilotes, inspección de cadenas de boyas, revisión de sistemas de fondeo, reparación de pavimentos, limpieza de excrementos de pájaros, inspección de la corrosión en las estructuras y equipos mecánicos, entre otras varias, donde necesitan el apoyo de naves menores.

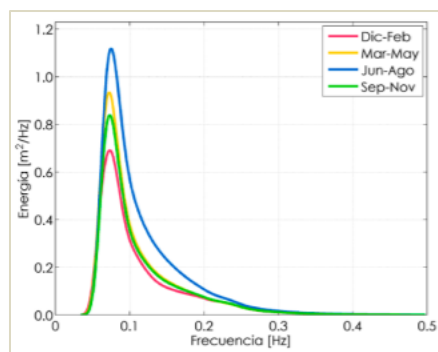
Estos procedimientos requieren de planificación, ya que interfieren directamente en la operatividad de cada infraestructura, el costo de la inversión y el tiempo que necesitará para llevarse a cabo. Para el desarrollo de esta planificación de trabajo se debe tomar en cuenta el cierre del puerto, ya que determina el tránsito de naves menores o mayores que se vayan a utilizar para el correcto desarrollo de la actividad de mantención, conservación, mejoramiento y/o modernización, como también para aquellas actividades que se vayan a desarrollar en los periodos de cierre.

Las Capitanías de Puerto pertenecientes a la DIRECTEMAR¹, son las encargadas de emitir el Estado de cada puerto (abierto o cerrado) en base a las condiciones climáticas, como medida de protección a las personas, las naves y la infraestructura marítima portuaria. Considerando lo anterior, está la necesidad de coordinar aquellas obras de mantención que se puedan realizar cuando la infraestructura no está disponible para realizar maniobras de atraque o desatraque para naves menores y/o mayores, de forma de reducir los costos asociados al cierre, como también planificar las obras que necesitan apoyo de naves y así definir el cronograma de trabajo teniendo en cuenta los tiempos perdidos.

Por lo tanto, este proyecto tuvo la finalidad de generar un pronóstico de las horas en que el sistema portuario de la bahía Quintero se encontrará cerrado el año 2019 y 2020, de forma tal de facilitar la toma de decisiones para planificar futuras obras de mantención, conservación, mejoramiento y/o modernización de las infraestructuras. Por otro lado, permitió conocer cuáles son los tiempos de cierre de naves mayores y naves menores y así dar pie para su evaluación. Cabe mencionar que el estudio se centró exclusivamente en los reportes de la Capitanía de Puerto en base a condiciones climáticas.

Como información adicional, según el Atlas de oleaje de Chile² la altura de oleaje promedio para el nodo Puerto Quintero³ es 0,8 metros, lo que habilita el puerto la mayor parte del tiempo. Por otro lado, el estudio del clima medio estacional establece que los eventos de mayor energía y en consecuencia los de mayor altura significativa, se presentan en los meses de junio a agosto (ver Figura 2), seguidos por los eventos de marzo a mayo. Cabe mencionar que este estudio de oleaje se realizó con el modelo Wavewatch III a partir de datos de vientos de 35 años y frente a la boca de los puertos fue generada con el modelo SWAN v.40.85 a partir de oleaje espectral de aguas profundas.

Figura 2 Espectro promedio de frecuencias Nodo Puerto Quintero. Clima medio estacional.



Fuente: Atlas de oleaje de Chile.

¹ Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, de la Armada de Chile.

² Beyá J., Álvarez M., Gallardo A., Hidalgo H., Aguirre C., Valdivia J., Parra C., Méndez L., Contreras F., Winckler P., Molina. (2016). *Atlas de oleaje de Chile*. Chile.

³ Coordenadas del nodo: 32.759°S, 71.502°O.

2 OBJETIVOS

Objetivo General

Pronosticar las horas mensuales en que el sistema portuario de la bahía Quintero se encontrará cerrado mediante un análisis de series de tiempo.

Objetivos específicos

- Analizar los datos históricos de las horas mensuales en que el sistema portuario de la bahía de Quintero se encuentra cerrado para naves mayores y naves menores.
- Desarrollar un modelo de series de tiempo que permita representar de manera adecuada los datos históricos.
- Pronosticar las horas mensuales en que el sistema portuario de la bahía de Quintero se encontrará cerrado para naves mayores y menores en base al modelo.

3 FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La estadística descriptiva es un proceso de investigación que se utiliza para analizar, estudiar y describir un conjunto de datos, con la finalidad de obtener información, analizarla y simplificarla para que pueda ser interpretada fácilmente y, por tanto, pueda utilizarse apropiadamente para el fin que se desee (Webster, 2004).

Un análisis descriptivo implica calcular las medidas características de una distribución, en las que se encuentra:

- Medidas de centralización: media, mediana y moda.
- Medidas de dispersión: desviación típica, varianza, amplitud, mínimo, máximo, error típico de la media.

El propósito de los procedimientos de la estadística descriptiva es explicar de forma breve una amplia colección de medidas, con unos cuantos valores fundamentales.

3.2 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

El proceso de desarrollar un pronóstico comienza de la recolección de datos anteriores durante varios periodos. El conjunto de datos resultantes se denomina serie de tiempo, porque contiene observaciones de una variable durante el tiempo. El propósito del análisis de las series de tiempo es predecir o proyectar los valores futuros de la variable a partir de observaciones anteriores (Webster, 2004; Pérez, 2005; Hanke, 2006).

El análisis de series de tiempo se utiliza en distintos campos, como los registros diarios del mercado de valores en economía, pronósticos de producción de granos, pronósticos de temperatura en cambio climático (Ye, Yang, Van Ranst, & Tang, 2013), rendimiento anual de contenedores de un puerto en logística (Chan, Xu, & Qi, 2019; Pang & Gebka, 2016; Zhang, Huang, & Zhao, 2013; Peng & Chu, 2009; Rashed, Meersman, Van de Voorde, & Vanellander, 2016), pronósticos en logística y economía portuaria (Halabi, Richards, Bilgin, & Montoya, 2014), pronósticos de alturas de oleaje (Prahlada & Chandra, 2015).

Todas las series de tiempo tienen al menos uno de estos cuatro componentes:

1. Tendencia secular (o tendencia), es la conducta a largo plazo de la variable durante un periodo extendido, en el que refleja la dirección general de la serie de tiempo como ascendente o descendente.
2. Variaciones estacionales, son movimientos en las series de tiempo que ocurren de nuevo cada año por la misma época.
3. Variaciones cíclicas, son variaciones como de onda en el nivel general de la variable durante un periodo relativamente prolongado.
4. Variaciones irregulares, son producidas por procesos inusuales que producen movimientos sin un patrón discernible.

Un modelo de series de tiempo puede expresarse como la combinación de estos cuatro componentes.

Cuando se mide una variable a lo largo del tiempo, con frecuencia las observaciones en diferentes periodos están relacionados o correlacionados. Esta correlación se mide mediante el uso del coeficiente de autocorrelación (Ecuación 1), que es la correlación que existe entre una variable retrasada uno o más periodos consigo misma (Hanke, 2006).

Ecuación 1

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

donde

r_k = coeficiente de autocorrelación para un retraso de k periodos
 Y_t = observación en el periodo t
 n = número de datos.

Si existe autocorrelación entonces se puede realizar un pronóstico mediante métodos autoproyectivos. A continuación, se describen los métodos que pueden ser utilizados para pronosticar la variable.

3.2.1 Descomposición de la serie de tiempo

El método de la descomposición de la serie de tiempo consiste en identificar los factores que influyen en cada valor de la serie. Se estudia cada componente de la serie, se proyecta y luego se combinan para producir los valores futuros de la serie de tiempo.

Los dos modelos más simples que relacionan los valores observados (Y_t) de una serie de tiempo con los componentes de tendencia (T_t), estacional (S_t), cíclica (C_t) e irregular (I_t) son el modelo de los componentes aditivos (Ecuación 2) y el modelo de los componentes multiplicativos (Ecuación 3).

Ecuación 2

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + I_t$$

Ecuación 3

$$Y_t = T_t \times S_t \times C_t \times I_t$$

3.2.2 TÉCNICAS DE SUAVIZADO

Las técnicas de suavizado se utilizan para suavizar irregularidades y fluctuaciones de una serie temporal a fin de obtener la línea de suavizado como una señal libre de variaciones estacionales y óptima para la predicción. Entre los métodos de suavizado se encuentran (Hanke, 2006; Webster, 2004).

- Promedio móvil de orden k , es la media aritmética de k observaciones consecutivas. El valor más reciente del promedio móvil proporciona un pronóstico para el siguiente periodo (Ecuación 4).

Ecuación 4

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1}}{k}$$

donde

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{t+1} &= \text{valor pronosticado para el siguiente periodo} \\ Y_t &= \text{observación en el periodo } t \\ k &= \text{número de términos en el promedio móvil} \end{aligned}$$

- Suavizado exponencial simple, este método se basa en suavizar los valores pasados de una serie en una forma exponencial, es un procedimiento para revisar de forma continua un pronóstico a la luz de experiencias más recientes (Ecuación 5). El valor de α determina la medida en que la observación actual influye en el pronóstico de la siguiente observación, valores más pequeños de α suavizan más la serie y su elección se realiza mediante un proceso iterativo que disminuya el error.

Ecuación 5

$$S_t(1) = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1}(1)$$

donde

$$\begin{aligned} S_t(1) &= \text{la predicción de } X_t \text{ en el horizonte 1} \\ \alpha &= \text{constante de suavizamiento } (0 < \alpha < 1) \\ X_t &= \text{observación en el periodo } t \end{aligned}$$

- Suavizado lineal de Holt, este método sirve para realizar predicciones bajo el supuesto de tendencia lineal, es una modificación del método de suavizado exponencial simple donde además de la constante α incluye una constante β . Los valores predichos vienen dados por el modelo lineal de la Ecuación 6

Ecuación 6

$$F_t(1) = S_t + (\beta_t)1 \quad t + 1 > 2$$

donde

$$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)[S_{t-1} + \beta_{t-1}]$$

y

$$\beta_t = \beta[S_t - S_{t-1}] + (1 - \beta)\beta_{t-1}$$

Los valores iniciales son $S_t = X_t$ y $\beta_1 = X_2 - X_1$

$$\begin{aligned} X_t &= \text{observación en el periodo } t \\ S_t &= \text{observación en el periodo } t \text{ de la serie suavizada} \end{aligned}$$

- $F_t(1)$ = predicción en el periodo t a horizonte 1
- β_t = valor del parámetro estimado del modelo en el periodo t
- α = primera constante de suavizamiento relacionada con la aleatoriedad ($0 < \alpha < 1$)
- β = segunda constante de suavizamiento relacionada con la tendencia ($0 < \beta < 1$)

- Suavizado estacional de Winters, este método es una generalización del método lineal de Holt (Ecuación 6) para tratar con datos que presenten variaciones estacionales. En este caso, la forma de la predicción es la descrita en la Ecuación 7 donde L es el número de observaciones anuales y el mínimo de datos es de dos años. La estacionalidad se tiene en cuenta mediante el factor I_{t+1-L}

Ecuación 7
$$F_t(1) = (S_t + 1(\beta_t))I_{t+1-L}$$

donde

$$S_t = \alpha X_t / I_{t-L} + (1 - \alpha)[S_{t-1} + \beta_{t-1}]$$

$$\beta_t = \beta[S_t - S_{t-1}] + (1 - \beta)\beta_{t-1}$$

y

$$I_t = \gamma X_t / S_t + (1 - \gamma)I_{t-L}$$

- α = primera constante de suavizamiento relacionada con la aleatoriedad ($0 < \alpha < 1$)
- β = segunda constante de suavizamiento relacionada con la tendencia ($0 < \beta < 1$)
- γ = tercera constante de suavizamiento relacionada con la estacionalidad ($0 < \gamma < 1$)

3.2.3 ARIMA

Box y Jenkins han desarrollado modelos estadísticos que tienen en cuenta la dependencia existente entre los datos. Cada observación en un momento dado es modelada en función de los valores anteriores. Estos modelos se conocen con el nombre genérico de ARIMA (AutoRegresive Integrated Moving Average), el cuál deriva de sus tres componentes: autorregresivo (AR), integrado (I) de medias móviles (MA). El modelo ARIMA permite describir un valor como una función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar como se describe en la Ecuación 8. Puede incluir, una componente estacional. El objetivo consiste en obtener un modelo adecuado pero parsimonioso. Es decir, debe contener todos los elementos necesarios, pero los mínimos necesarios para describir el fenómeno. Este tipo de modelos solo puede ser aplicado a series estacionarias (Hanke, 2006; Webster, 2004; Pérez, 2005; Box, Jenkins, & Reinsel, 2016).

Ecuación 8
$$Y_t = \partial + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

donde

Y_t = variable respuesta en el tiempo t

∂ = valor promedio que permanece constante en el tiempo

- ϕ = coeficiente de ponderación proceso autorregresivo
- p = orden del proceso autorregresivo
- θ = coeficiente de ponderación proceso media móvil
- ε_t = error observado
- q = orden del proceso media móvil

Una forma de presentar el modelo ARIMA con parte regular y estacional es:

$$ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$$

Donde:

- p = número de parámetros autorregresivos (AR) en la parte regular
- d = número de diferenciaciones (I) en la parte regular
- q = número de parámetros de medias móviles (MA) en la parte regular
- P = número de parámetros autorregresivos (AR) en la parte estacional
- D = número de diferenciaciones estacionales (I) en la parte estacional
- Q = número de parámetros de medias móviles (MA) en la parte estacional
- s = orden de estacionalidad

Las series de tiempo se pueden clasificar en:

- Estacionarias: Una serie es estacionaria cuando es estable a lo largo del tiempo, es decir, cuando la media y varianza son constantes en el tiempo. Esto se refleja gráficamente en que los valores de la serie tienden a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo.
- No estacionarias: Son series en las cuales la tendencia y/o variabilidad cambian en el tiempo. Los cambios en la media determinan una tendencia a crecer o decrecer a largo plazo, por lo que la serie no oscila alrededor de un valor constante.

Para cumplir con el supuesto de estacionariedad existen funciones de transformación de las series temporales que permiten una correcta aplicación de los modelos ARIMA, las que se utilizan para suavizar irregularidades y fluctuaciones de una serie temporal a fin de obtener la línea de suavizado como una señal libre de variaciones estacionales y óptima para la predicción.

Los tipos de transformación pueden ser las siguientes:

- Diferencia: Diferencia no estacional entre valores sucesivos de la serie. El orden es el número de valores previos utilizados para calcular la diferencia. Dado que se pierde una observación para cada orden de diferencia, aparecerán valores perdidos comienzo de la serie, sirve para eliminar tendencia dentro del set de datos.
- Diferencia estacional: Diferencia los valores de la serie respecto a los valores de la propia serie distanciados un orden de valores constante. El orden se basa en la

periodicidad definida. El orden es el número de períodos estacionales utilizados para calcular la diferencia. El número de casos con el valor perdido del sistema al comienzo de la serie es igual a la periodicidad multiplicada por el orden de la diferencia estacional, sirve para eliminar tendencia estacional dentro del set de datos

- Media móvil centrada: Se utiliza el promedio de un rango de los valores de la serie, que rodean e incluyen al valor actual. La amplitud es el número de valores de la serie utilizados para calcular el promedio. Si la amplitud es par, la media móvil se calcula con el promedio de cada par de medias no centradas. Número de casos con el valor perdido del sistema al comienzo y al final de la serie para una amplitud de n es igual a $n/2$ para los valores de la amplitud par y $(n-1)/2$ para los valores de la amplitud impar.
- Media móvil anterior: Se utiliza el promedio de un rango de las observaciones precedentes. La amplitud es el número de valores precedentes de la serie utilizados para calcular el promedio. El número de casos con el valor perdido del sistema al comienzo de la serie es igual al valor de la amplitud.
- Medianas móviles: Se utiliza la mediana de un rango de los valores de la serie, que rodean e incluyen al valor actual. La amplitud es el número de valores de la serie utilizados para calcular la mediana. Si la amplitud es par, la mediana se calcula con el promedio de cada par de medianas no centradas. Número de casos con el valor perdido del sistema al comienzo y al final de la serie para una amplitud de n es igual a $n/2$ para los valores de la amplitud par y $(n-1)/2$ para los valores de la amplitud impar.
- Suma acumulada: Cada valor de la serie se sustituye por la suma acumulada de los valores precedentes, incluyendo el valor actual.
- Retardo: Cada valor de la serie se sustituye por el valor del caso precedente, en el orden especificado. El orden especifica a qué distancia se encuentra el caso precedente. El número de casos con el valor perdido del sistema al comienzo de la serie es igual al valor del orden.
- Adelanto: Cada valor de la serie se sustituye por el valor de un caso posterior, en el orden especificado. El orden especifica a qué distancia se encuentra el caso posterior. El número de casos con el valor perdido del sistema al final de la serie es igual al valor del orden.
- Suavizado T4253H: Los nuevos valores de la serie se basan en un suavizador de datos compuesto. El suavizador comienza con una mediana móvil de 4, que se centra por una mediana móvil de 2. A continuación, se vuelven a suavizar estos valores aplicando una mediana móvil de 5, una mediana móvil de 3 y los promedios ponderados móviles (hanning). Los residuos se calculan sustrayendo la serie suavizada de la serie original. Después se repite todo el proceso sobre los residuos calculados. Por último, los residuos suavizados se calculan sustrayendo los valores suavizados obtenidos la primera vez que se realizó el proceso.

Para medir qué tanto se acopla un modelo estadístico a un conjunto de observaciones, existen una serie de medidas de la bondad del ajuste utilizadas en el modelado de series temporales, entre ellas:

- R cuadrado estacionaria: Una medida que compara la parte estacionaria del modelo con un modelo de promedio simple. Esta medida es preferible al R-cuadrado ordinario cuando existe tendencia o patrón estacional. El valor de R cuadrado estacionario puede ser negativo con un rango de infinidad negativa hasta 1.
- R cuadrado: Una estimación de la proporción de la varianza total en la serie que explica el modelo. Esta medida es más útil cuando la serie es estacionaria. R-cuadrado puede ser negativa con un rango desde menos infinito hasta 1.
- RMSE: Raíz de la media cuadrática de los errores (Root Mean Square Error). La raíz cuadrada de la media cuadrática de los errores. Una medida de cuánto se desvía la serie dependiente del nivel pronosticado por el modelo, expresado en las mismas unidades que la serie dependiente.
- MAE: Media del error absoluto (Mean Absolute Error). Mide la desviación de la serie del nivel pronosticado por el modelo. El MAE se informa en las unidades originales de la serie.
- BIC normalizado: Criterio de información Bayesiano normalizado (Normalized Bayesian Information Criterion). Una medida general del ajuste global del modelo que intenta tener en cuenta la complejidad del modelo. Es una medida basada en la media cuadrática de los errores que incluye una penalización para el número de parámetros presentes en el modelo y la longitud de la serie. La penalización elimina la ventaja de los modelos con mayor número de parámetros, haciendo que el estadístico sea fácil de comparar entre distintos modelos para la misma serie.

4 METODOLOGÍA

Aplicado al sistema portuario de Quintero, se realizó un análisis del estado del puerto, en el cual se estudió una estadística de la situación marítima portuaria obtenida de la base de datos de la Capitanía de Puerto Quintero a partir de enero del año 2009 hasta diciembre del año 2018.

El “estado del puerto” corresponde a si se encuentra abierto o cerrado, donde existen distintas categorías según el tipo de nave y el área donde estas se vayan a desplazar. Los estados pueden ser:

1. Abierto – Condiciones normales (en adelante ACN).
2. Cerrado para movimiento de naves mayores (en adelante CNM).
3. Cerrado para naves menores fuera de la bahía (en adelante CNMF).
4. Cerrado para naves menores fuera y dentro de la bahía (en adelante CNMFD).
5. Paralización de actividades (en adelante PA).

Cabe mencionar que los criterios para definir cada estado están dados por los estudios de maniobrabilidad definidos por cada uno de los organismos que conforman el sistema portuario de Quintero.

Con el fin de cumplir los objetivos de este estudio, primero se realizó una estadística descriptiva de los datos históricos donde se calcularon las medidas de centralización y dispersión de la muestra. La que consistió en crear gráficos de líneas con el promedio horas mensuales en que se presenta cada estado para observar preliminarmente patrones como estacionalidad, en que rango varían la cantidad de horas, conocer máximos y mínimos; y además la creación de gráficos circulares que permitieron conocer el porcentaje de tiempo anual que se presenta cada uno de los estados.

Luego con el software IBM SPSS statistics versión 25 se realizó el análisis de series de tiempo. Para representar de manera adecuada los datos históricos se probaron distintos modelos estacionales y no estacionales, donde dependiendo del modelo la serie necesitó transformaciones para cumplir con los supuestos de cada método. Para cada estado de puerto se aplicaron distintos modelos en un proceso iterativo, donde se evaluó el contraste de validez conjunta del modelo, siendo aquel modelo con mejor medidas de la bondad de ajuste, el utilizado para realizar un pronóstico para el año 2019 y 2020, donde se realizaron gráficos con las horas mensuales en el tiempo para una mejor interpretación de los datos.

La serie de Paralización de Actividades no fue posible pronosticar, ya que no presenta autocorrelación y no se puede modelizar por métodos autoproyectivos.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DATOS HISTÓRICOS

En la Figura 3 se presenta gráficamente el comportamiento de cada uno de los estados del puerto en los últimos 10 años.

El año 2009 se aprecia el mayor porcentaje de horas del estado ACN de 90,1%, con una tendencia a disminuir hasta el año 2011 y luego aumentar hacia el año 2018 llegando a ser un 87,8% del tiempo. El estado CNM se presenta 10,1% del tiempo el año 2016 siendo su mayor peak. El estado CNMF presenta su peak el 2011 con un 18,3% del tiempo y CNMFD presenta un peak el 2009 con un 4,7% del tiempo, la serie PA presenta su peak el año 2015 con un 1,6% del tiempo.

Figura 3 Porcentaje de horas por año de cada estado de puerto

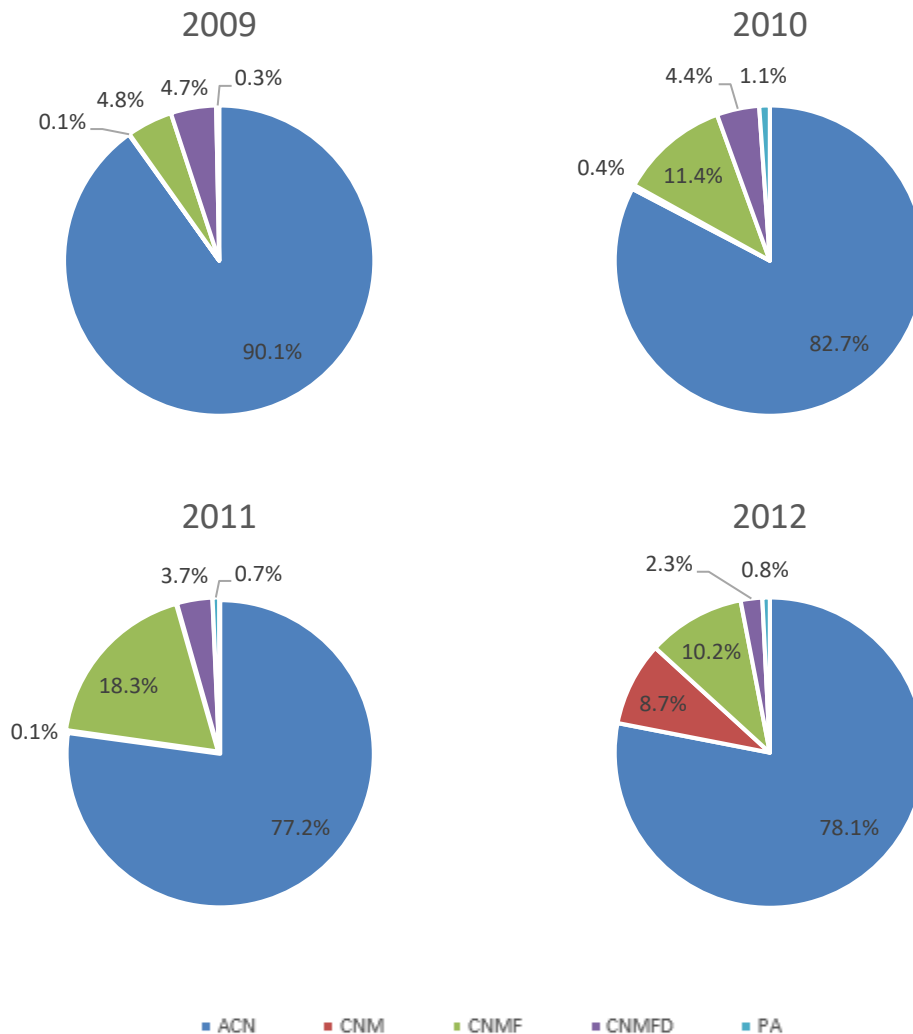
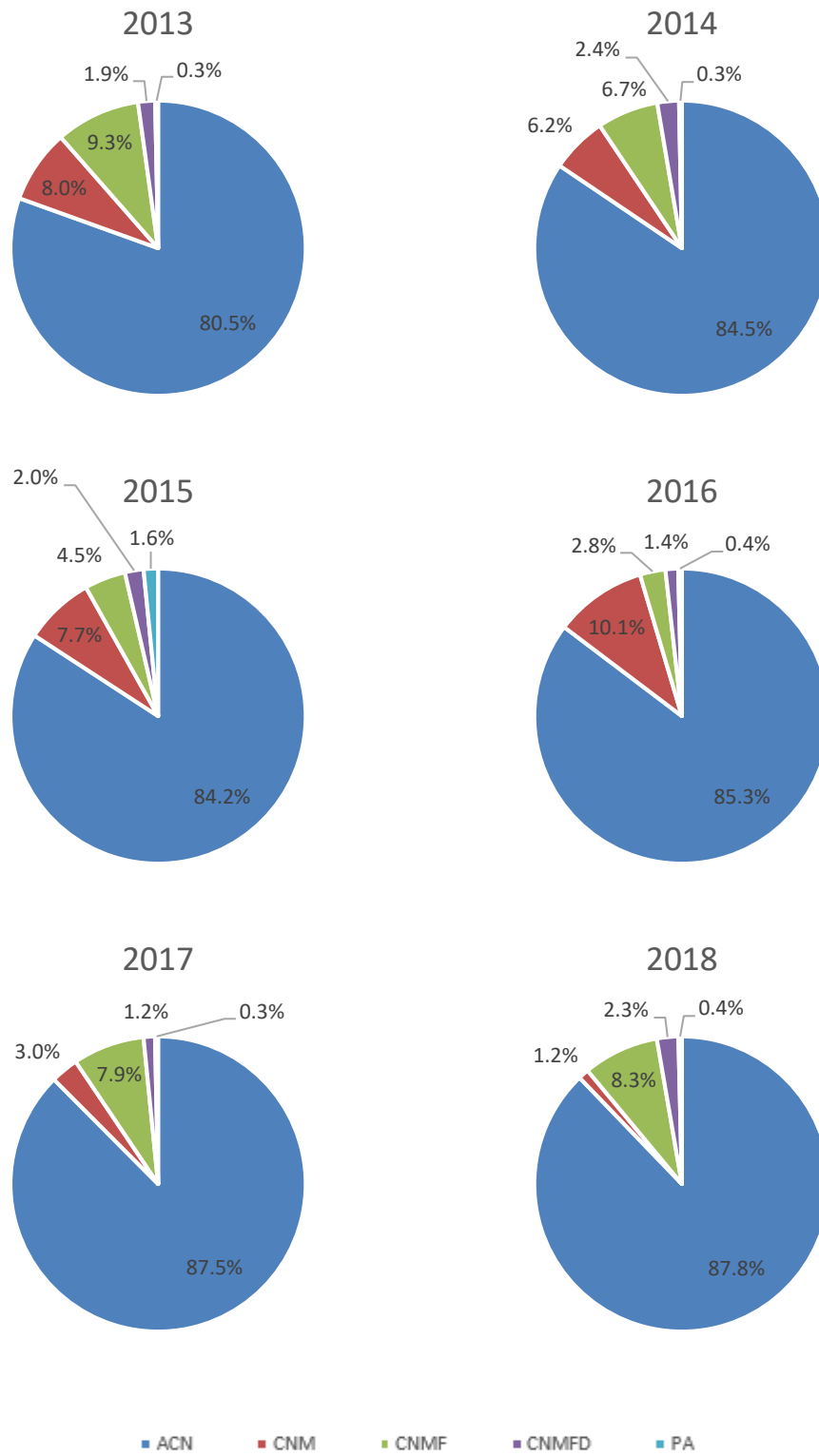


Figura 4 Porcentaje de horas por año de cada estado de puerto



En la Tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos de los datos históricos para cada estado de puerto. La media mensual de la condición ACN es de 612 horas, CNM es de 33 horas, CNMF 61 horas, CNMFD 19 horas y PA es de 5 horas.

Tabla 1 Estadísticos descriptivos en horas mensuales

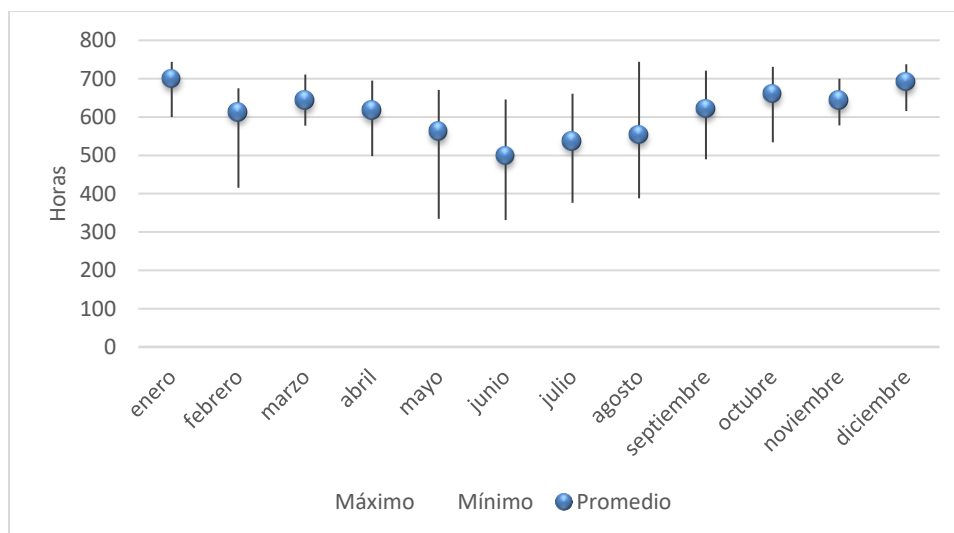
ESTADO	MEDIA	ERROR TÍPICO	MEDIANA	MODA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANGO	MÍNIMO	MÁXIMO
ACN	612	8	626	633	91	413	331	744
CNM	33	5	4	0	51	240	0	240
CNMF	61	5	46	0	57	287	0	287
CNMFD	19	2	10	0	24	120	0	120
PA	5	1	0	0	15	123	0	123

Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 5 – 10 describen el máximo, mínimo, rango y promedio mensual de horas que se ha observado para cada estado desde el año 2009 al 2018.

En la Figura 5 se puede notar que en promedio el estado ACN se mantiene mayor cantidad de horas los meses de enero (700 horas) y diciembre (692 horas), la menor cantidad de horas de este estado se presentan los meses de mayo a agosto, siendo el promedio mínimo el mes de junio con 498 horas.

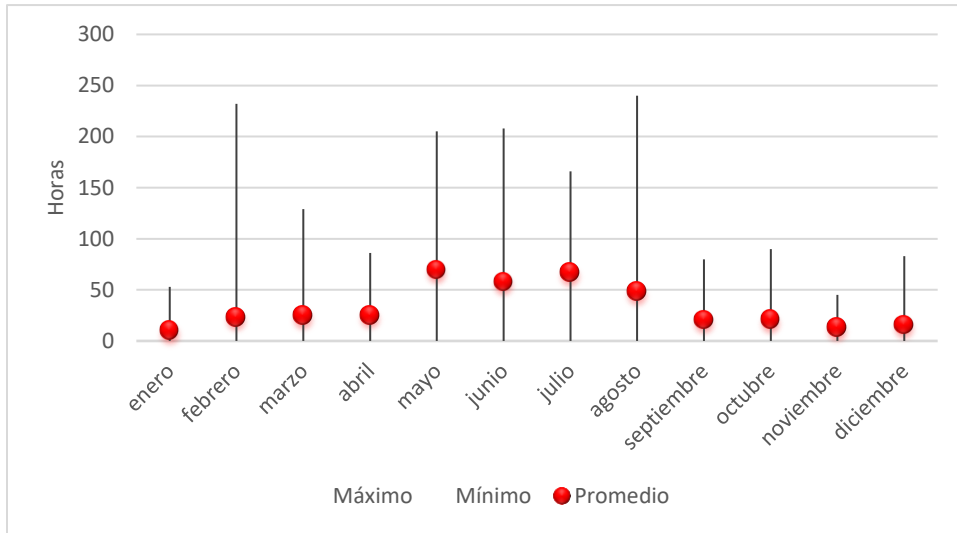
Figura 5 Horas mensuales del estado ACN



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se aprecia que los meses de febrero, mayo, junio, julio y agosto la cantidad de horas del estado CNM puede ser más variable, pero que en promedio este estado se presenta mayormente los meses de mayo a agosto, siendo mayo con 69 horas el promedio máximo.

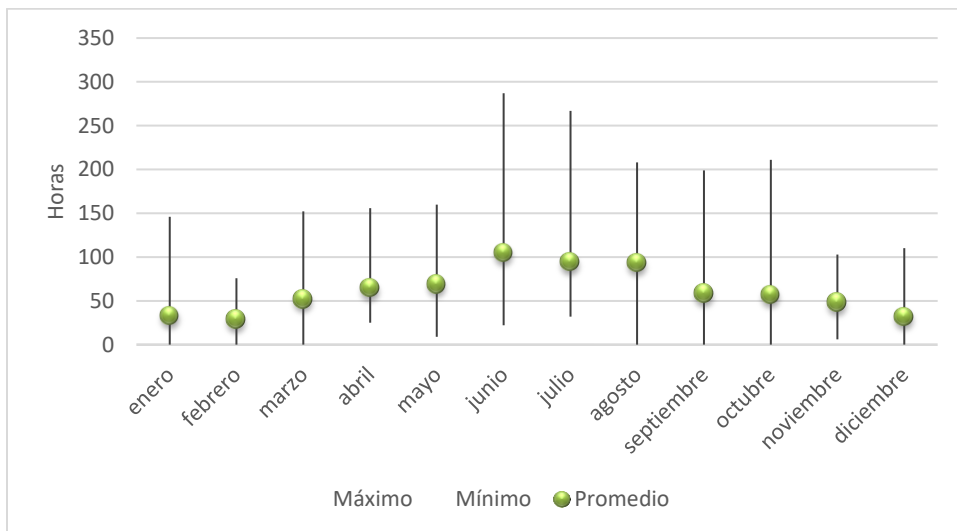
Figura 6 Horas mensuales del estado CNM



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se puede apreciar que el estado CNMF es más variable en los meses de junio a octubre, mientras que en promedio la mayor cantidad de horas se presentan los meses de mayo a septiembre, siendo junio con 105 horas el mayor. La menor cantidad de horas en promedio se presenta en los meses diciembre a febrero.

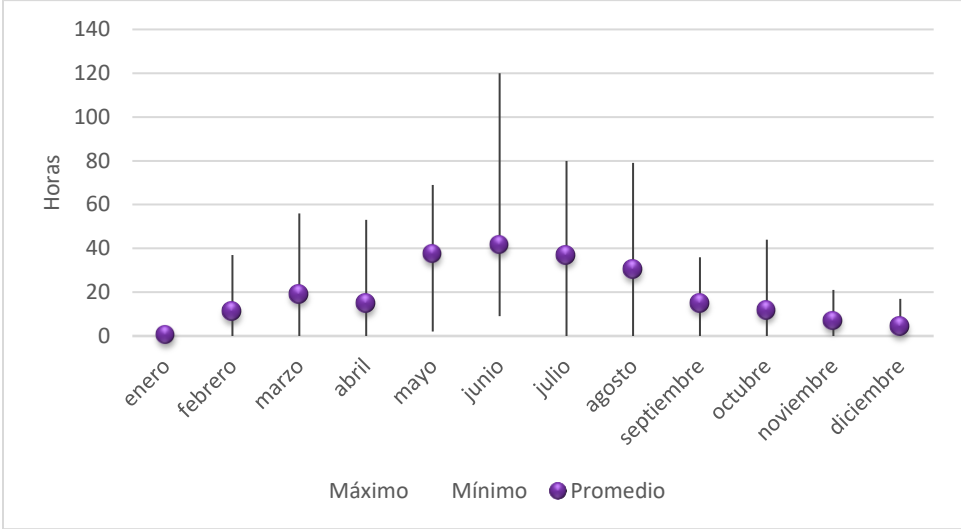
Figura 7 Horas mensuales del estado CNMF



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se puede apreciar que la mayor variabilidad de horas del estado CNMFD se da en los meses mayo a agosto, siendo el mayor promedio el mes de junio con 42 horas, la menor cantidad de horas se presenta los meses de enero y diciembre.

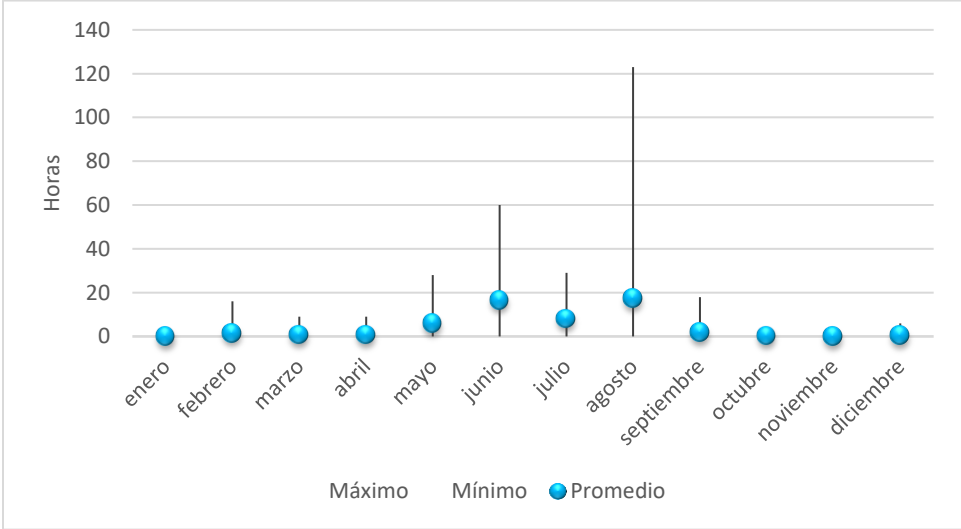
Figura 8 Horas mensuales del estado CNMFD



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se aprecia que el mayor número de horas en promedio del estado PA se registra en los meses de junio a agosto con 17 horas, mismos meses donde su valor toma los mayores rangos de variabilidad.

Figura 9 Horas mensuales del estado PA



Fuente: Elaboración propia.

5.2 DESARROLLO DE UN MODELO DE SERIES DE TIEMPO

El desarrollo del modelo se realizó con los datos históricos de cada serie a partir del año 2009 al año 2017, de manera de evaluar el comportamiento del modelo en el año 2018 con datos observados el año 2018.

En la Tabla 2 – 5 se presentan cuatro modelos de series de tiempo que resultaron con mejor medida de la bondad de ajuste para cada uno de los estados de puerto analizados. En el Anexo B – E se puede apreciar distintos modelos analizados y sus respectivas medidas de la bondad de ajuste.

Evaluando el contraste de la validez conjunta del modelo para la serie ACN (ver Tabla 2) el modelo seleccionado es el ARIMA (2,1,2)(1,1,1). Puesto que presenta las mejores métricas de ajuste, donde R cuadrado estacionario y R cuadrado son ambos positivos y cercanos a 1, un RMSE de 10,1 horas, un MAE de 7,2 horas y un Criterio de Información Bayesiano normalizado de 4,93 (es el menor entre todos los modelos).

Tabla 2 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste ACN.

MÉTRICA DE AJUSTE	ESTACIONAL SIMPLE	ARIMA (2,1,3)(1,1,0)	ARIMA (2,1,2)(1,1,0)	ARIMA (2,1,2)(1,1,1)
R cuadrado estacionaria	0,59	0,82	0,85	0,87
R cuadrado	0,93	0,97	0,97	0,98
RMSE	17,1	11,6	10,8	10,1
MAE	13,2	8,4	8,0	7,2
BIC normalizado	5,76	5,08	5,01	4,93

Fuente: Elaboración propia.

Evaluando el contraste de la validez conjunta del modelo para la serie CNM (ver Tabla 3) el modelo seleccionado es el ARIMA (2,1,3)(1,0,1). Puesto que presenta las mejores métricas de ajuste, donde R cuadrado estacionario y R cuadrado son ambos positivos y cercanos a 1, un RMSE de 2,7 horas, un MAE de 1,6 horas y un Criterio de Información Bayesiano normalizado de 2,28 que resultó ser el menor entre todos los modelos.

Tabla 3 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste CNM

ESTADÍSTICO DE AJUSTE	ESTACIONAL SIMPLE	ARIMA (1,1,1)(0,1,1)	ARIMA (2,1,3)(1,0,1)	ARIMA (0,1,1)(0,1,1)
R cuadrado estacionaria	0,40	0,88	0,95	0,74
R cuadrado	0,93	0,99	0,99	0,97
RMSE	8,9	4,1	2,7	6,0

MAE	7,0	2,7	1,6	3,9
BIC normalizado	4,46	2,98	2,28	3,70

Fuente: Elaboración propia.

Evaluando el contraste de la validez conjunta del modelo para la serie CNMF (ver Tabla 4) el modelo seleccionado es el ARIMA (2,1,2)(0,1,1). Puesto que presenta las mejores métricas de ajuste, donde R cuadrado estacionario y R cuadrado son ambos positivos y cercanos a 1, un RMSE de 7,5 horas, un MAE de 5,3 horas y un Criterio de Información Bayesiano normalizado de 4,28 que resultó ser el menor entre todos los modelos.

Tabla 4 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste CNMF

ESTADÍSTICO DE AJUSTE	ESTACIONAL SIMPLE	ARIMA (0,1,2)(0,1,1)	ARIMA (2,1,2)(0,1,1)	ARIMA (0,1,2)(2,1,1)
R cuadrado estacionaria	0,56	0,87	0,90	0,90
R cuadrado	0,90	0,97	0,98	0,98
RMSE	14,8	8,5	7,5	7,6
MAE	10,6	5,7	5,3	4,9
BIC normalizado	5,46	4,44	4,28	4,31

Fuente: Elaboración propia.

Evaluando el contraste de la validez conjunta del modelo para la serie CNMFD (ver Tabla 5) el modelo seleccionado es el ARIMA (0,1,2)(0,1,2). Puesto que presenta las mejores métricas de ajuste, donde R cuadrado estacionario y R cuadrado son ambos positivos y cercanos a 1, un RMSE de 2,0 horas, un MAE de 1,4 horas y un Criterio de Información Bayesiano normalizado de 1,56 que resultó ser el menor entre todos los modelos.

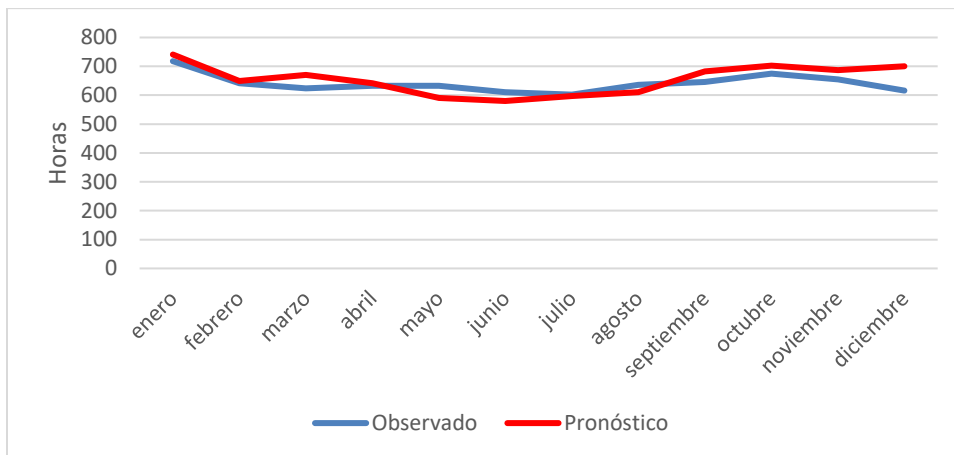
Tabla 5 Modelos de serie de tiempo con su medida de la bondad de ajuste CNMFD

ESTADÍSTICO DE AJUSTE	ESTACIONAL SIMPLE	ARIMA (2,1,2)(0,0,0)	ARIMA (1,1,2)(1,1,2)	ARIMA (0,1,2)(0,1,2)
R cuadrado estacionaria	0,23	0,91	0,86	0,87
R cuadrado	0,91	0,98	0,98	0,98
RMSE	5,1	2,3	2,0	2,0
MAE	4,0	1,5	1,4	1,4
BIC normalizado	3,34	1,74	1,70	1,56

En las Figuras 10 – 13 se muestran en azul los datos observados el año 2018 en contraste con el pronóstico realizado para ese mismo año en base al modelo escogido anteriormente con línea roja, de manera de validar los modelos escogidos.

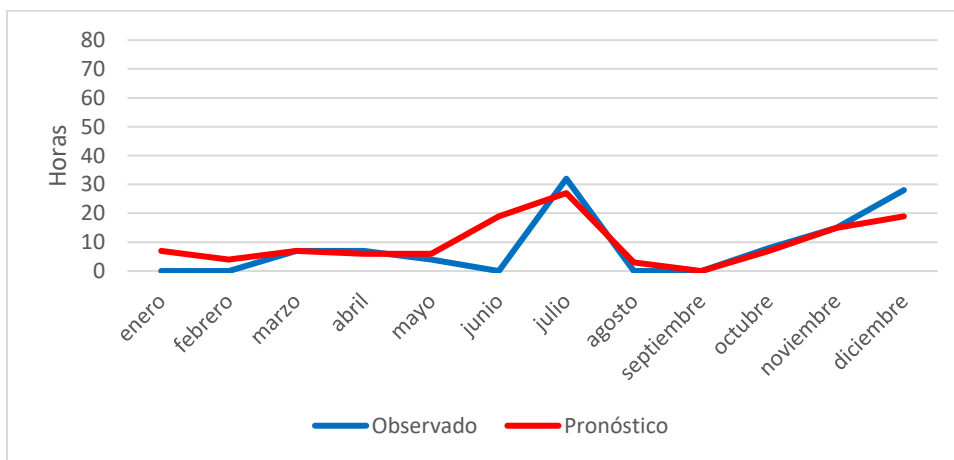
En la Figura 10 se puede apreciar que el pronóstico en general es capaz de modelar el comportamiento de la serie, con diferencias mayores en marzo y diciembre, dentro de los rangos de horas que se han presentado en lo observado.

Figura 10 Datos Observados v/s Pronóstico año 2018 serie ACN



En la Figura 11 se puede apreciar que el pronóstico en general es capaz de representar lo observado, teniendo dificultades en los valores con mayor fluctuación, pero dentro de los valores esperados y errores aceptables. En junio es donde se presenta la mayor diferencia, influenciado en gran medida por valores anteriores de la serie histórica, puesto que en junio normalmente no se presenta valores de cero.

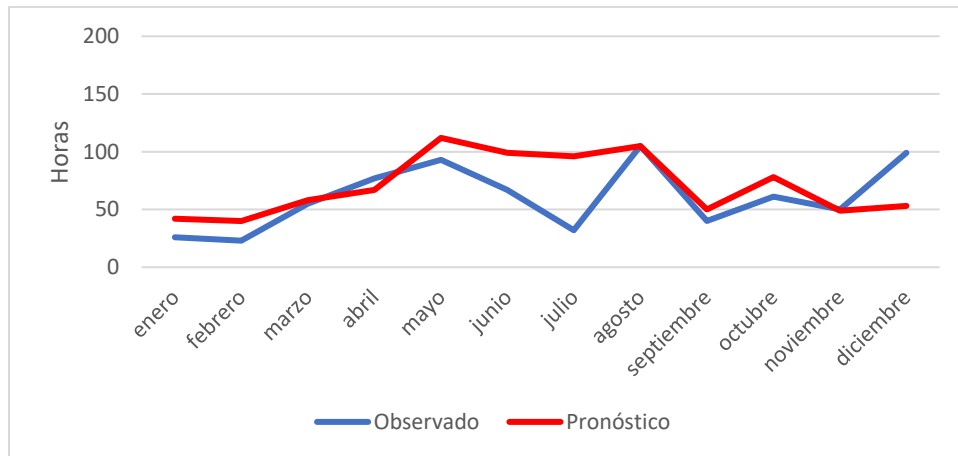
Figura 11 Datos Observados v/s Pronóstico año 2018 serie CNM



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 el pronóstico es capaz de representar el comportamiento de la serie, pero en general tiende a sobreestimar el comportamiento de la serie, puesto que el año 2017 la serie presentaba una tendencia en media positiva, mientras que el año 2013 al 2016 presentaba una tendencia en media negativa.

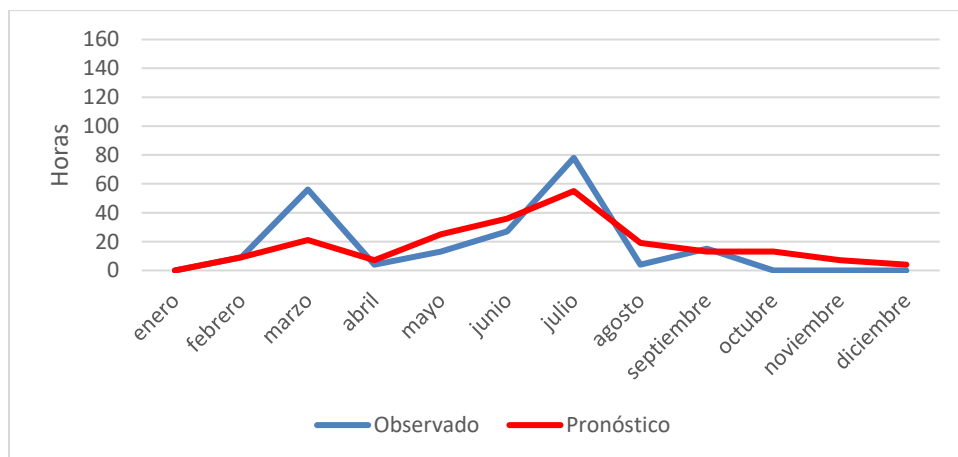
Figura 12 Datos Observados v/s Pronóstico año 2018 serie CNMF



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13 el pronóstico es capaz de representar el comportamiento de la serie, con errores aceptables, la mayor diferencia se presentó los meses de marzo y julio, esto debido a que lo observado presentaba un comportamiento con tendencia en media negativa, por lo que el modelo subestima el pronóstico.

Figura 13 Datos Observados v/s Pronóstico año 2019 serie CNMFD



Fuente: Elaboración propia.

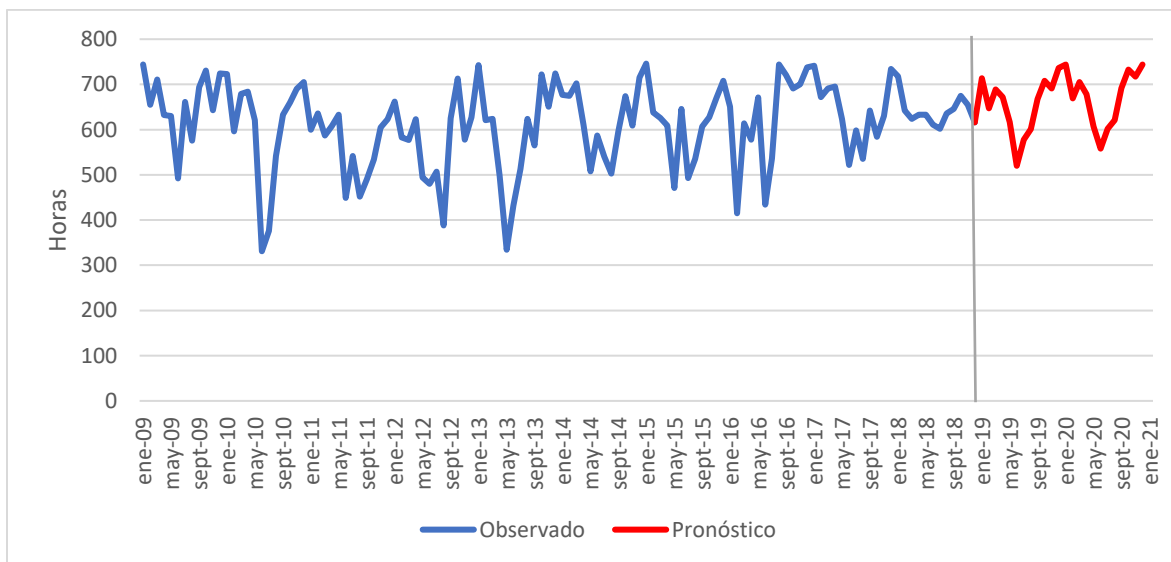
5.3 PRONÓSTICOS

Los pronósticos se realizaron a partir del modelo de serie de tiempo escogido en el ítem 5.2, los cuales se aplicaron a los datos observados desde el año 2009 al año 2018 de cada serie.

En la Figura 14 se puede apreciar en la serie ACN en azul los datos observados desde el año 2009 al 2018 y en rojo el pronóstico para los años 2019 y 2020 realizado con el modelo de serie de tiempo ARIMA (2,1,2)(1,1,1). En general la serie presenta un comportamiento estacional, presentándose los máximos en los meses de septiembre a abril y los mínimos de mayo a agosto. Podemos ver que a través del tiempo su rango ha ido disminuyendo, ya que en los últimos dos años no presenta valores bajo las 500 horas, mientras que en mayo del 2013 tuvo un mínimo de 334 horas.

El mes de junio de 2019 es donde se predice que habrá un mínimo 520 horas de la condición ACN, lo que significa que 224 horas la Bahía de Quintero estará cerrada, lo que corresponden a 9 días. Mientras que el año 2020 el mínimo será de 558 horas en el mes de junio, por lo que estará cerrado 186 horas, que equivale a 8 días. La media mensual del año 2019 será de 653 horas y el año 2020 de 673 horas, estando abierto 7841 horas el año 2019 con 919 horas de cierre (38 días) y 8070 horas el año 2020 con 690 horas de cierre (29 días) (Ver Anexo J).

Figura 14 Pronóstico para la serie ACN



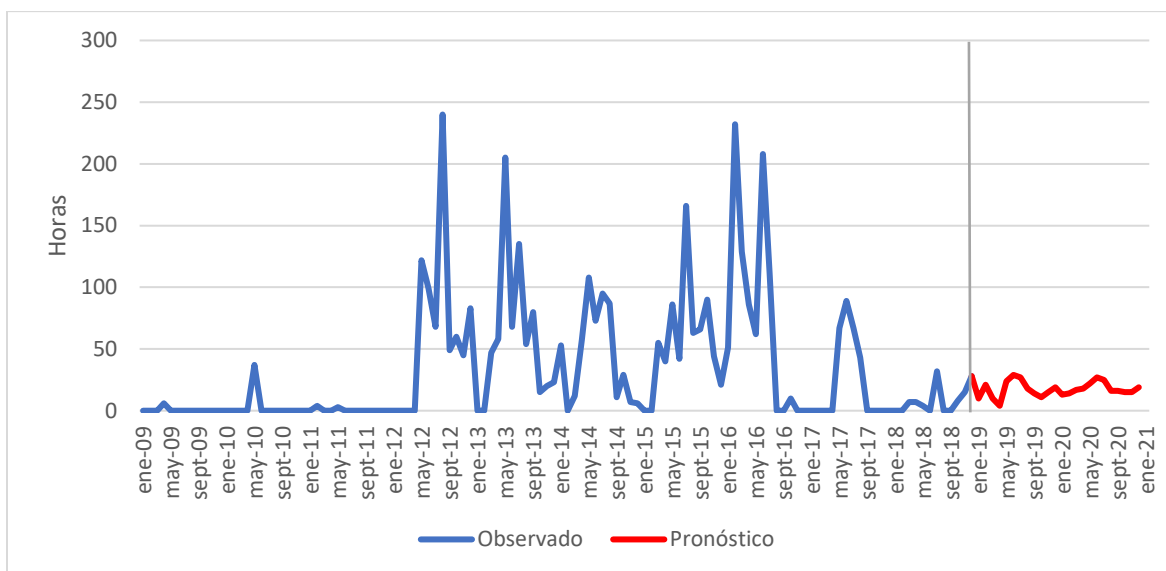
Fuente: Elaboración propia.

Para la serie CNM que se presenta en la Figura 15 se puede apreciar en azul los datos observados desde el año 2009 al 2018 y en rojo el pronóstico para los años 2019 y 2020 realizado con el modelo de serie de tiempo ARIMA (2,1,3)(1,0,1).

Esta serie presenta un notable aumento el año 2012, en comparación con los años 2009 al 2010, con una tendencia a la baja (en rango) el año 2014, volviendo a aumentar el 2015 y 2016, para disminuir desde septiembre del 2016. El año 2017 en los meses de mayo a agosto aumenta con un máximo de 89 horas en junio, mientras que el 2018 el máximo fue sólo de 32 horas en julio.

La predicción resultó con un rango más pequeño en comparación con los años 2012 al 2016, influenciada en gran medida por los años 2017 y 2018. En el mes de junio es donde se predice que habrá la mayor cantidad de horas de la condición CNM siendo 29 horas el año 2019 y 27 horas el año 2020. La media mensual del año 2019 será de 17 horas y el año 2020 de 18 horas, estando cerrado 202 horas el año 2019 (8,4 días) y 217 horas el año 2020 (9 días) (Ver Anexo K).

Figura 15 Pronóstico para la serie CNM



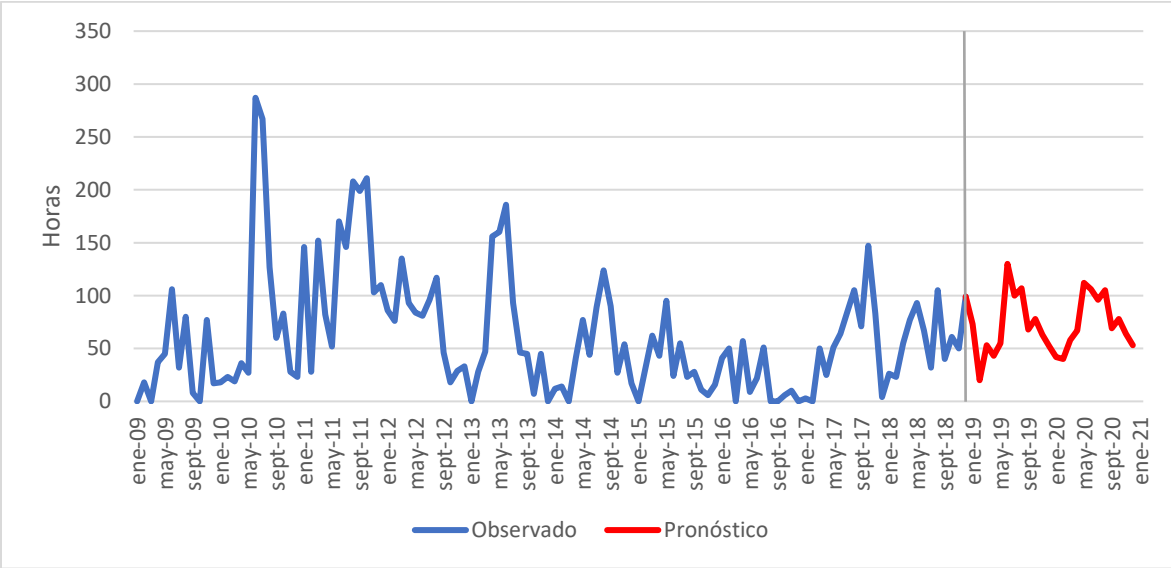
Fuente: Elaboración propia.

Para la serie CNMF que se presenta en la Figura 16 se puede apreciar en azul los datos observados desde el año 2009 al 2018 y en rojo el pronóstico para los años 2019 y 2020 realizado con el modelo de serie de tiempo ARIMA (2,1,2)(0,1,1).

Esta serie presenta un aumento en junio del 2010 en comparación con el año 2009, llegando a un peak de 287 horas, con una tendencia en media a la baja hasta el año 2016, donde nuevamente aumenta hasta el año 2018, al igual que CNM también presenta aumentos estacionales en los meses de mayo a agosto. En el año 2018 en los meses de septiembre a diciembre muestra un comportamiento con tendencia positiva, aún así el rango de horas es menor al presentado al año 2010.

En el mes de junio del año 2019 es donde se predice que habrá la mayor cantidad de horas de la condición CNMF alcanzando las 130 horas, en el año 2020 el máximo será de 120 horas. La media mensual del año 2019 será de 70 horas y el año 2020 de 74 horas, estando cerrado 842 horas el año 2019 (35 días) y 890 horas el año 2020 (37 días) (Ver Anexo L).

Figura 16 Pronóstico para la serie CNMF



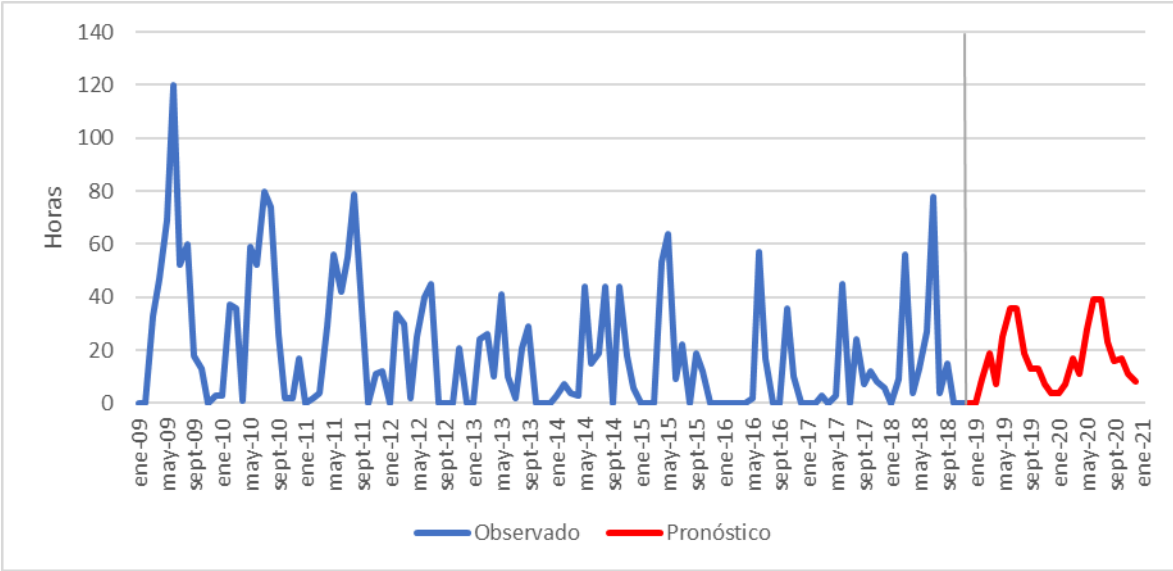
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 para la serie CMFD se puede apreciar en azul los datos observados desde el año 2009 al 2018 y en rojo el pronóstico para los años 2019 y 2020 realizado con el modelo de serie de tiempo ARIMA (0,1,2)(0,1,2).

Esta serie al igual que las anteriores, presenta comportamientos estacionales, con una tendencia en media negativa desde el año 2009 al 2013 y con tendencia en media positiva desde el año 2013 al 2018, pero esta última presenta rangos menores a los presentados el 2009, donde en junio se presentó un máximo de 120 horas. El 2018 el máximo ocurrió en julio con 78 horas de cierre.

En los meses de junio y julio es donde se predice que habrá la mayor cantidad de horas de la condición CNMFD alcanzando las 36 horas en cada mes del año 2019 y 39 horas en el año 2020. La media mensual del año 2019 será de 16 horas y el año 2020 de 18 horas, estando cerrado 188 horas el año 2019 que significan 8 días de cierre y 220 horas el año 2020 que equivalen a 9 días de cierre (Ver Anexo M).

Figura 17 Pronóstico para la serie CNMFD



Fuente: Elaboración propia.

6 CONCLUSIONES

Las series de tiempo presentan en general un régimen estacional anual, donde la mayor cantidad de horas donde el sistema portuario de la Bahía de Quintero se encuentra cerrado es en los meses de mayo a agosto y los meses de septiembre a abril es donde está mayormente abierto. Lo que es totalmente consecuente con nuestras estaciones del año, donde en otoño-invierno se presentan los mayores eventos climáticos de oleaje y viento, que dificulta el atraque y circulación de naves mayores y menores. Era esperable que los pronósticos presentasen el mismo régimen.

Para el año 2019 se pronostica que habrá 919 horas de cierre de puerto, lo que equivalen a 38 días que el sistema portuario se puede ver afectado de alguna manera. Para las Naves mayores el promedio mensual será de 17 horas de cierre, para las naves menores fuera de la bahía el promedio mensual será de 70 horas de restricción y para naves menores fuera y dentro de la bahía el promedio mensual será de 16 horas de cierre.

Para el año 2020 se pronostica que habrá 690 horas de cierre, lo que equivalen a 29 días donde el sistema portuario puede verse afectado en algún sentido. Para las naves mayores el promedio mensual de cierre será de 18 horas, para las naves menores fuera de la bahía el promedio mensual será de 74 horas de restricción y para naves menores fuera y dentro de la bahía el promedio mensual será de 18 horas de cierre.

Por lo tanto, se recomienda planificar las obras de mantención, conservación, mejoramiento y/o modernización de las infraestructuras, para los meses de septiembre a abril donde las operaciones de la Bahía de Quintero tienen menos horas perdidas por cierre de puerto de naves mayores y menores. En el caso que sean obras extensas, hay que considerar que los meses de mayo a agosto presentan la mayor cantidad de horas de cierre y las obras a realizar se pueden ver afectadas con tiempos perdidos, por lo que en su planificación se debe considerar mayores holguras, de 1 día en promedio mensual en el caso de naves mayores y 2 días mensuales en el caso de naves menores dentro de la bahía.

En el caso de obras de menor duración se recomienda planificar para los meses de diciembre y enero, ya que son meses donde el sistema portuario se afecta menos por las horas de cierre.

Aquellas obras de mantención de defensas de muelle que requieren ausencia de naves mayores y no necesitan naves menores, se recomiendan planificarlas para los meses de mayo a agosto donde hay mayor probabilidad que naves mayores tengan restricción de atraque. Teniendo en consideración que estas obras de mantención por su naturaleza igualmente puedan verse afectadas por la causa del cierre.

La mayor cantidad de horas de cierre, como se mencionó anteriormente, se presentan los meses de mayo a agosto, con su peak en junio, consecuencia de eventos climáticos más

fuerzas, por lo que, si hay mayor requerimiento de operación del puerto y este no puede responder de la manera óptima, se recomienda buscar soluciones de ingeniería, como obras de abrigo que permitan dar solución a los 34 días en promedio que el sistema portuario se verá afectado por algún tipo de cierre de naves mayores o menores.

Si las pretensiones u objetivo del pronóstico de las horas de cierre son más acotadas y ambiciosas, se recomienda realizar la predicción usando series de tiempo causales, tomando en cuenta las forzantes de oleaje y vientos, con estudios forecasting adecuados y considerar el mayor costo asociado. Además, se acota que los resultados de este estudio corresponden al estudio de 10 años de situación marítima portuaria, donde en general en las series, se puede apreciar 1 ciclo de tiempo, por lo que se recomienda utilizar una mayor data para disminuir los errores asociados a ciclos temporales.

Las horas de cierre del sistema portuario de la Bahía Quintero son posibles de pronosticar mediante un análisis de series de tiempo, de forma tal de facilitar la toma de decisiones para planificar futuras obras de mantención, conservación, mejoramiento y/o modernización de las infraestructuras y planificación de presupuestos anuales a un menor costo.

Un Ingeniero Civil Oceánico es capaz de planificar, gestionar y administrar obras de ingeniería civil en el ámbito marítimo portuario.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beyá J., Álvarez M., Gallardo A., Hidalgo H., Aguirre C., Valdivia J., Parra C., Méndez L., Contreras F., Winckler P., Molina. (2016). *Atlas de oleaje de Chile*. Chile.
- Box, G., Jenkins, G., & Reinsel, G. (2016). *Time Series Analysis. Forecasting and Control. Fifth Edition*. Wiley.
- Chan, H., Xu, S., & Qi, X. (2019). A comparison of time series methods for forecasting container throughput. *International Journal of Logistics Research*, 294-303.
- Halabi, A., Richards, D., Bilgin, A., & Montoya, J. (2014). Forecasting in Port Logistics and Economics using Time Series Data Mining Model. *Journal of Network and Innovative Computing*, 128-139.
- Hanke, J. (2006). *Pronósticos en los negocios. Octava edición*. México: Pearson educación.
- Pang, G., & Gebka, B. (2016). Forecasting container throughput using aggregate or terminal-specific data? The case of Tanjung Priok Port, Indonesia. *International Journal of Production Research*, 2454-2469.
- Peng, W.-Y., & Chu, C.-W. (2009). A comparison of univariate methods for forecasting container throughput volumes. *Mathematical and Computer Modelling*, 1045–1057.
- Pérez, C. (2005). *Técnicas estadísticas con SPSS 12. Aplicaciones al análisis de datos*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Prahlada, R., & Chandra, P. (2015). Forecasting of Time Series Significant Wave Height Using Wavelet Decomposed Neural Network. *Aquatic Procedia*, 540 - 547.
- Rashed, Y., Meersman, H., Van de Voorde, E., & Vanelislander, T. (2016). Short-term forecast of container throughout: An ARIMA-intervention model for the port of Antwerp. *Maritime Economics & Logistics*.
- Webster, A. (2004). *Estadística Aplicada a los negocios y la economía. Tercera edición*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Ye, L., Yang, G., Van Ranst, E., & Tang, H. (2013). Time-series modeling and prediction of global monthly absolute temperature for environmental decision making. *ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES, VOL. 30*, 382–396.
- Zhang, C., Huang, L., & Zhao, Z. (2013). Research on combination forecast of port cargo throughput based on time series and causality analysis. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 124-134.

8 ANEXOS

Anexo A Respaldo autenticidad base de datos "Situación Marítima" DIRECTEMAR

 Stefani Martínez <stefani.martinez.r@gmail.com>

Da respuesta a solicitud Oirs Directemar N° 13116.

Osvaldo Castro Escobar <ocastro@dgtm.cl>
Para: stefani.martinez.r@gmail.com

18 de marzo de 2019, 17:08

SOLICITUD N° 13116

**SEÑORITA
STEFANI JAVIERA MARTÍNEZ VILLARROEL
PRESENTE**

Junto con saludarla, y en relación a su solicitud N° 13116, remito a Ud. un archivo en formato "excel" (Oirs 13116) conteniendo la condición de puerto o "Situación Marítima Portuaria" del Puerto de Quintero entre los años 2009 a la fecha.

Con relación a las maniobras, informo a Ud., que toda la información relacionada, se encuentra disponible en nuestra página web: "www.directemar.cl", "Estadísticas Marítimas - Boletines Estadísticos - Ver más", "Estadísticas Marítimas - Nuevo Boletín Estadístico Marítimo - Leer más", encontrará el Boletín 2018 y los históricos, rescatando que en "6.- Tráfico Marítimo" podrá encontrar entre otros, los siguientes antecedentes estadísticos:


- 6.1 Recaladas
- 6.1.1 Número de recaladas mensual de naves nacionales por puertos. Año 2016.
- 6.1.2 Número de recaladas mensual de naves extranjeras por puertos. Año 2016.
- 6.2 Naves atendidas mensualmente por el Servicio de Pilotaje en canales australes. Años 2007 al 2016.
- 6.3 Número de balseos, vehículos y pasajeros transportados en la zona sur austral.
- 6.3.1 Número de balseos, vehículos y pasajeros transportados en la zona sur austral. Años 1992 al 2016.
- 6.3.2 Número de balseos, vehículos y pasajeros transportados en la zona sur austral. Años 1997 al 2016.
- 6.4 Tráfico marítimo (avistamientos) de Naves Mayores en el Estrecho de Magallanes-Beagle y Cabo de Hornos. Año 2016.

Si requiere información de años anteriores, en "Histórico B.E.M." (costado izquierdo, al final) podrá encontrar antecedentes históricos.

Saluda atentamente a Ud.,

Osvaldo Castro Escobar
Capitán de Navío LT
Encargado Oficina Transparencia/OIRS
Directemar

18.Marzo.2019.

 **Oirs 13116.xlsx**
164K

Anexo B Modelos ajustados a serie ACN

ESTADÍSTICO DE AJUSTE	SIMPLE	T. LINEAL DE HOLT	T. LINEAL DE BROWN	T. AMORTIGUADA	EST. SIMPLE	ADITIVO DE WINTERS	MULT. DE WINTERS	ARIMA (2,1,3) (1,1,0)	ARIMA (2,1,2) (1,1,0)	ARIMA (2,1,2) (1,1,1)
R cuadrado estacionaria	-0,001	-0,001	-0,001	0,638	0,585	0,580	0,436	0,820	0,849	0,868
R cuadrado	0,785	0,913	0,913	0,922	0,927	0,926	0,897	0,967	0,972	0,975
RMSE	29,306	18,710	18,626	17,788	17,125	17,291	20,483	11,634	10,760	10,111
MAE	22,592	15,037	15,033	13,961	13,175	13,323	16,077	8,405	7,984	7,234
BIC normalizado	6,795	5,938	5,889	5,877	5,761	5,820	6,159	5,082	5,014	4,933

Anexo C Modelos ajustados a serie CNM

ESTADÍSTICO DE AJUSTE	SIMPLE	T. LINEAL DE HOLT	T. LINEAL DE BROWN	T. AMORTIGUADA	EST. SIMPLE	ADITIVO DE WINTERS	ARIMA (2,1,1) (0,1,1)	ARIMA (2,1,2) (1,1,1)	ARIMA (0,1,1) (0,1,1)
R cuadrado estacionaria	0,000	-0,001	0,000	0,627	0,396	0,396	0,900	0,892	0,744
R cuadrado	0,878	0,949	0,949	0,955	0,930	0,930	0,988	0,987	0,970
RMSE	11,736	7,605	7,571	7,229	8,930	8,970	3,765	3,950	5,950
MAE	7,122	5,070	5,068	4,779	6,984	7,107	2,409	2,523	3,934
BIC normalizado	4,965	4,137	4,089	4,076	4,459	4,507	2,870	3,053	3,698

Anexo D Modelos ajustados a serie CNMF

ESTADÍSTICO DE AJUSTE	SIMPLE	T. LINEAL DE HOLT	T. LINEAL DE BROWN	T. AMORTIGUADA	EST. SIMPLE	ADITIVO DE WINTERS	MULT. DE WINTERS	ARIMA (0,1,2) (0,1,1)	ARIMA (2,1,2) (0,1,1)	ARIMA (0,1,2) (2,1,1)
R cuadrado estacionaria	0,000	-0,001	0,000	0,583	0,564	0,559	0,480	0,867	0,903	0,900
R cuadrado	0,838	0,924	0,924	0,932	0,895	0,893	0,873	0,968	0,975	0,975
RMSE	18,230	12,564	12,508	11,871	14,755	14,920	16,279	8,450	7,466	7,572
MAE	12,414	8,368	8,366	7,876	10,572	10,720	11,517	5,685	5,259	4,934
BIC normalizado	5,846	5,141	5,093	5,068	5,463	5,525	5,699	4,443	4,283	4,311

Anexo E Modelos ajustados a serie CNMFD

ESTADÍSTICO DE AJUSTE	SIMPLE	T. LINEAL DE HOLT	T. LINEAL DE BROWN	T. AMORTIGUADA	EST. SIMPLE	ADITIVO DE WINTERS	ARIMA (2,1,2) (0,0,0)	ARIMA (1,1,2) (1,1,2)	ARIMA (0,1,2) (0,1,2)
R cuadrado estacionaria	0,000	-0,001	-0,001	0,669	0,228	0,211	0,909	0,861	0,865
R cuadrado	0,806	0,929	0,929	0,936	0,908	0,905	0,982	0,983	0,983
RMSE	7,354	4,466	4,446	4,270	5,096	5,182	2,250	2,009	1,959
MAE	5,056	3,215	3,215	3,098	3,983	4,038	1,500	1,430	1,393
BIC normalizado	4,030	3,073	3,024	3,023	3,337	3,410	1,742	1,701	1,564

Anexo F Parámetros del Modelo ARIMA (2,1,2)(1,1,1) - ACN

		Estimación	SE	t	Sig
Constante		0.375	0.297	1.264	0.209
AR	Retardo 1	0.873	1.548	0.564	0.574
	Retardo 2	-0.163	0.286	-0.572	0.569
Diferencia		1			
MA	Retardo 1	1.597	1.539	1.038	0.302
	Retardo 2	-0.626	1.425	-0.439	0.661
AR, estacional	Retardo 1	0.051	0.143	0.359	0.720
Diferencia estacional		1			
MA, estacional	Retardo 1	0.998	19.136	0.052	0.958

Anexo G Parámetros del Modelo ARIMA (2,1,3)(1,0,1) - CNM

		Estimación	SE	t	Sig
Constante		0.117	1.805	0.065	0.948
AR	Retardo 1	-0.750	0.080	-9.426	0.000
	Retardo 2	-0.880	0.080	-10.991	0.000
Diferencia		1			
MA	Retardo 1	-0.145	0.087	-1.669	0.098
	Retardo 2	-0.375	0.085	-4.423	0.000
	Retardo 3	0.673	0.076	8.899	0.000
AR, estacional	Retardo 1	0.645	0.297	2.167	0.032
MA, estacional	Retardo 1	0.448	0.348	1.286	0.201

Anexo H Parámetros del Modelo ARIMA (2,1,2)(0,1,1) - CNMF

		Estimación	SE	t	Sig
Constante		-0.090	0.421	-0.213	0.832
AR	Retardo 1	-0.564	0.192	-2.941	0.004
	Retardo 2	0.250	0.163	1.532	0.129
Diferencia		1			
MA	Retardo 1	-0.067	0.165	-0.408	0.684
	Retardo 2	0.790	0.162	4.886	0.000
Diferencia estacional		1			
MA, estacional	Retardo 1	0.775	0.128	6.069	0.000

Anexo I Parámetros del Modelo ARIMA (0,1,2)(0,1,2) - CNMFD

		Estimación	SE	t	Sig
Constante		0.077	0.045	1.706	0.091
Diferencia		1			
MA	Retardo 1	0.818	0.510	1.602	0.112
	Retardo 2	0.176	0.155	1.136	0.259
Diferencia estacional		1			
MA, estacional	Retardo 1	0.746	0.119	6.282	0.000
	Retardo 2	0.014	0.120	0.113	0.911

Anexo J Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie ACN

	2019	2020
Enero	714	744
Febrero	647	669
Marzo	689	705
Abril	672	678
Mayo	617	607
Junio	520	558
Julio	578	602
Agosto	601	621
Septiembre	668	692
Octubre	708	733
Noviembre	691	717
Diciembre	736	744
Máximo	736	744
Mínimo	520	558
Media	653	673
Total	7841	8070

Anexo K Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie CNM

	2019	2020
Enero	10	13
Febrero	21	14
Marzo	10	17
Abril	4	18
Mayo	24	22
Junio	29	27
Julio	27	25
Agosto	18	16
Septiembre	14	16
Octubre	11	15
Noviembre	15	15
Diciembre	19	19
Máximo	29	27
Mínimo	4	13
Media	17	18
Total	202	217

Anexo L Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie CNMF

	2019	2020
Enero	73	42
Febrero	20	40
Marzo	53	58
Abril	43	67
Mayo	55	112
Junio	130	106
Julio	100	96
Agosto	107	105
Septiembre	68	69
Octubre	78	78
Noviembre	63	64
Diciembre	52	53
Máximo	130	112
Mínimo	20	40
Media	70	74
Total	842	890

Anexo M Pronóstico y estadísticos descriptivos de la serie CNMFD

	2019	2020
Enero	0	4
Febrero	9	7
Marzo	19	17
Abril	7	11
Mayo	25	28
Junio	36	39
Julio	36	39
Agosto	19	23
Septiembre	13	16
Octubre	13	17
Noviembre	7	11
Diciembre	4	8
Máximo	36	39
Mínimo	0	4
Media	16	18
Total	188	220