

**FORECASTING: ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE DEMANDA FUTURA PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS APLICADOS A LA RECOLECCIÓN DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**JEFERSON CARPIO PATIÑO  
LISSETH CAROLINA OCAMPO MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**FORECASTING: ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE DEMANDA FUTURA PARA LA  
OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS APLICADOS A LA RECOLECCIÓN DE  
RESIDUOS SÓLIDOS**

**JEFERSON CARPIO PATIÑO  
LISSETH CAROLINA OCAMPO MARTINEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
GUILLERMO MEJÍA AGUILAR  
Ingeniero Civil, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

## CONTENIDO

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN .....   | 14          |
| 1. OBJETIVOS .....   | 16          |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL .....   | 16          |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 16          |
| 2. MARCO TEÓRICO .....   | 17          |
| 2.1 PRONÓSTICOS Y LA PLANEACIÓN Y EL CONTROL DE OPERACIONES..                    | 17          |
| 2.2 TIPOS DE PRONÓSTICOS .....   | 17          |
| 2.3 EVALUACIÓN DEL MODELO DE PRONÓSTICO .....                                    | 20          |
| 2.4 SERIES DE TIEMPO .....   | 21          |
| 2.4.1 Patrones de datos en las series de tiempo .....                            | 22          |
| 2.4.2 Análisis de autocorrelación .....  | 25          |
| 2.4.3 Criterios para la identificación de patrones en las series de tiempo ..... | 26          |
| 2.5 MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN .....   | 29          |
| 2.6 METODOLOGÍA BOX-JENKINS (ARIMA) .....  | 33          |
| 3. METODOLOGÍA .....   | 36          |
| 3.1 FASE I: Diseño y datos de investigación.....                                 | 36          |
| 3.2 FASE II: Organización y limpieza de datos .....                              | 36          |
| 3.3 FASE III: Análisis de comportamiento de los datos.....                       | 36          |
| 3.4 FASE IV: Selección de método de pronóstico.....                              | 37          |
| 3.5 FASE V: Evaluación del método de pronóstico .....                            | 38          |

|   |    |
|---|----|
| 4. DATOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE PRONÓSTICOS ..... | 39 |
| 5. RESULTADOS .....                                       | 40 |
| 5.1 ORGANIZACIÓN Y LIMPIEZA DE DATOS.....                 | 40 |
| 5.2 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS .....         | 40 |
| 5.2.1 Identificación de patrones .....                    | 40 |
| 5.2.2 Componentes.....                                    | 41 |
| 5.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO.....               | 48 |
| 5.3.1 Pronóstico estacional por descomposición .....      | 48 |
| 5.3.2 Metodología Box-Jenkins (ARIMA) .....               | 50 |
| 5.4 EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO .....             | 57 |
| 6. CONCLUSIONES .....                                     | 59 |
| 7. REFERENCIAS.....                                       | 61 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 64 |
| ANEXOS .....  | 65 |

## LISTA DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Tabla 1. Resumen técnicas representativas de pronóstico.....                                | 19          |
| Tabla 2. Identificación de patrones de datos de forma visual. ....                          | 27          |
| Tabla 3. Identificación de patrones de datos por medio de análisis de autocorrelación. .... | 28          |
| Tabla 4. Modelos de componentes.....  | 31          |
| Tabla 5. Datos históricos B00657, M4, Línea Residencial.....                                | 41          |
| Tabla 6. Promedio móvil no centrado para B00657, M4, Línea Residencial.....                 | 43          |
| Tabla 7. Promedio móvil centrado para B00657, M4, Línea Residencial.....                    | 43          |
| Tabla 8. Índices estacionales.....  | 46          |
| Tabla 9. Valores máximos y mínimos mensuales L2-M4-B00657. ....                             | 46          |
| Tabla 10. Pronóstico estacional por método de descomposición. ....                          | 49          |
| Tabla 11. Error del pronóstico.....   | 49          |
| Tabla 12. Estimación y verificación de los parámetros del modelo.....                       | 53          |
| Tabla 13. Modelos ARIMA, área de mercado 17, línea residencial. ....                        | 55          |
| Tabla 14. Pronósticos y Límites Inferior y superior, B02165.....                            | 56          |
| Tabla 15. Índices de precisión, área de mercado 17, línea residencial.....                  | 57          |

## LISTA DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1. Serie de tiempo B00175: WM of Ark Tenn Alabama Kentucky, Línea Residencial. ....               | 22          |
| Figura 2. Serie de tiempo con patrón estacionario.....   | 23          |
| Figura 3. Serie de tiempo con patrón estacional. ....  | 23          |
| Figura 4. Serie de tiempo con patrón de tendencia. ....  | 24          |
| Figura 5. Serie de tiempo con patrón cíclico. ....   | 24          |
| Figura 6. Serie de tiempo con componente aleatorio. ....   | 25          |
| Figura 7. Función de autocorrelación para B00175. ....   | 26          |
| Figura 8. Diagrama de flujo estrategia de construcción de un modelo. ....                                | 34          |
| Figura 9. Serie de tiempo B00657, M4, Línea Residencial. ....  | 42          |
| Figura 10. Representación gráfica de la serie de tiempo y el componente unificado tendencia-ciclo .....  | 44          |
| Figura 11. Representación gráfica de la serie de tiempo sin el componente unificado tendencia-ciclo..... | 45          |
| Figura 12. Índices estacionales.....   | 46          |
| Figura 13. Representación gráfica de la serie de tiempo sin el componente estacional. ....               | 47          |
| Figura 14. Representación gráfica de la serie de tiempo sin el componente estacional y tendencia. ....   | 47          |
| Figura 15. Pronóstico empleando método de descomposición. ....   | 49          |

|  |    |
|--|----|
| Figura 16. Unidad de Negocio B02165, M17, Línea Residencial. ....                              | 51 |
| Figura 17. Serie de tiempo con una diferencia, B02165. ....                                    | 52 |
| Figura 18. Funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial. ....                        | 53 |
| Figura 19. Función de autocorrelación y autocorrelación parcial residuales<br>aleatorias. .... | 54 |
| Figura 20. Unidad de negocio B01001, línea residencial. ....                                   | 58 |

## LISTA DE ANEXOS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| ANEXO A. Unidades de negocio Zona Operativa 17 .....                 | 65          |
| ANEXO B. Organización y limpieza de datos Línea Residencial .....    | 66          |
| ANEXO C. Formato Identificación de patrones en series de tiempo..... | 68          |
| ANEXO E. Pronóstico y límites Zona operativa 17 .....                | 69          |
| ANEXO F. Pronósticos e índices de precisión Zona Operativa 17 .....  | 80          |
| ANEXO G. Organización y presentación pronósticos método ARIMA.....   | 91          |

## RESUMEN

**TITULO:** FORECASTING: ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE DEMANDA FUTURA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS APLICADOS A LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. \*

**AUTOR(ES):** JEFERSON CARPIO PATIÑO. \*\*  
LISSETH CAROLINA OCAMPO MARTINEZ. \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Residuos sólidos urbanos (RSU), planeación, control de operaciones, pronóstico, patrones de datos, series de tiempo, análisis de autocorrelación, índices de precisión.

**DESCRIPCIÓN:** La producción elevada de volúmenes de residuos sólidos urbanos (RSU) en los últimos tiempos, ha causado un impacto ambiental y social de gran magnitud en la población mundial. Como consecuencia, las empresas encargadas de la recolección, transporte, procesamiento y disposición de dichos residuos se ven en la necesidad de mejorar su sistema de planeación y control de operaciones con el fin de generar nuevas estrategias que permitan optimizar los procesos y así satisfacer la demanda actual.

El presente estudio tiene como objetivo explorar y pronosticar series temporales generadas a partir datos reales relacionados con la generación de RSU recopilados mes a mes desde el año 2004 hasta el 2015, los cuales han sido suministrados por una empresa anónima que opera en Estados Unidos y Canadá. En el proceso se tabulan los datos, se identifican puntos críticos y patrones existentes que expliquen el comportamiento de las series de tiempo de forma visual y utilizando análisis de autocorrelación, para posteriormente seleccionar métodos de pronósticos apropiados para las series temporales que anticipen eventos críticos. Finalmente, se calculan índices de precisión evaluando las predicciones obtenidas con observaciones reales, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de la gestión de operaciones de las empresas destinadas a esta labor.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, Ingeniero Civil PhD.

## ABSTRACT

**TITLE:** FORECASTING: ESTIMATION AND ANALYSIS OF FUTURE DEMAND FOR OPTIMIZATION PROCESS APPLIED TO SOLID WASTE COLLECTION. \*

**AUTHOR(S):** JEFERSON CARPIO PATIÑO. \*\*  
LISSETH CAROLINA OCAMPO MARTINEZ. \*\*

**KEYWORDS:** Municipal Solid Waste (MSW), planning, control operations, forecasting, data patters, time series, autocorrelation analysis, accuracy rates.

**DESCRIPTION:** The high production volumes of Municipal Solid Waste (MSW) in recent times has caused an environmental and social impact of wide magnitude in the world population. As a consequence, the companies responsible for the collection, transportation, processing and arrangement of such waste, have the requirement to improve their planning and control systems of operations in order to improve their services and achieve satisfying current demand.

The objective of this study is to explore and to forecast time series generated from actual data related to the generation of MSW compiled month by month from 2004 to 2015, supplied by an anonymous US Company that operates in United States and Canada. Into the process are tabulated the data, critical points and existing patterns are identified to explain the behavior of time series visually and also using autocorrelation analysis. Subsequently, selecting appropriate forecast methods which anticipate critical events. Finally, accuracy rates are calculated by assessing the predictions obtained, thus contributing to improve the management of business operations aimed at this work.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, Ingeniero Civil PhD.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento mundial de la población, en especial en países desarrollados, ha conllevado a la generación de grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos (RSU), lo que se constituye como una alerta sobre un problema social y ambiental de grandes proporciones [1]. Un ejemplo de ello es Estados Unidos que generó un total de 254 millones de toneladas de RSU en 2013, frente a los 88,1 millones de toneladas en 1960 [2]. Este aumento, ha sido impulsado en gran medida por factores socioeconómicos, tales como el crecimiento demográfico y el desarrollo económico [3]. Los RSU incluyen los residuos de los hogares y las organizaciones comerciales, en donde los residuos residenciales oscilan entre 55% al 65% y los residuos comerciales son alrededor del 35% al 45% del total [4].

Las compañías recolectoras de RSU deben tomar decisiones operativas con respecto a la ubicación y la capacidad de los vertederos, el número de carros recolectores, el personal operativo, las rutas, el número de viviendas atendidas y horarios de recolección de residuos [5]. Estas variables son influenciadas por varios factores locales y prever el volumen de residuos sólidos es un gran reto para las empresas administradoras de RSU ya que deben garantizar un buen servicio de recolección para evitar problemas de contaminación y almacenamiento, como de equipos necesarios para la recolección y transporte.

Las empresas de gestión de residuos requieren un sistema eficaz que ayude a planificar su funcionamiento de forma eficiente. Por esta razón, los gerentes deben incorporar en sus herramientas de supervisión procesos de planificación que les permitan predecir las producciones de residuos sólidos y responder a la demanda de manera eficaz y eficiente [1]. Con la implementación de métodos de previsión se puede proporcionar información oportuna a fin de que los equipos de gestión de

proyectos anticipen futuros valores reales críticos y tomen las medidas que se requieran, cuando sea necesario.

La necesidad de incorporar herramientas para apoyar el proceso de toma de decisiones operativas en las empresas de gestión de RSU destaca la importancia de tener en cuenta métodos de pronóstico basados en los análisis de patrones presentes en las series de tiempo. Este estudio tiene como propósito realizar una exploración y análisis de datos históricos de eventos reales relacionados con la generación de RSU utilizándolos para generar pronósticos rápidos y precisos. Para ello se realiza previamente un proceso de organización y limpieza de datos, se generan las series de tiempo, se identifican los patrones presentes en las series de tiempo por medio de criterios de visualización y análisis de autocorrelación, para finalmente aplicar técnicas de estimación de la demanda futura y calificarlas midiendo su precisión y su grado de incertidumbre.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Analizar y modelar series de tiempo de datos relacionados con la generación de RSU para seleccionar métodos de pronóstico que anticipen eventos críticos. Esta investigación busca a partir del estudio de datos históricos, encontrar patrones para realizar pronósticos confiables que ayuden al proceso de toma de decisiones operacionales.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Organizar y transformar los datos suministrados, caracterizando la información para su mejor comprensión y entendimiento.
- Identificar puntos críticos y patrones de comportamiento a través de análisis de autocorrelación.
- Seleccionar los métodos de pronóstico más adecuados, que identifiquen y anticipen eventos críticos, con el fin de mejorar la planeación y toma de decisiones operativas.

## **2. MARCO TEÓRICO**

En esta sección se presenta una descripción general sobre el papel de los pronósticos dentro de los procesos de planeación, de los tipos de pronósticos más usados, de la importancia de las series de tiempo, sus componentes y patrones de comportamiento y la evaluación de la eficiencia de un pronóstico.

### **2.1 PRONÓSTICOS Y LA PLANEACIÓN Y EL CONTROL DE OPERACIONES**

Un pronóstico se entiende como una predicción de hechos y condiciones futuras de una variable en estudio [7], proyectando los datos del pasado y combinándolos en forma sistemática para estimar su futuro [10].

Pronosticar se convierte, por tanto, en un proceso importante de la planeación estratégica y operacional en las empresas. Es necesario estimar el futuro para planear el sistema, y luego programar y controlar para garantizar una eficaz y eficiente producción de bienes o servicios [10]. En efecto, el éxito a largo plazo de una organización depende de cuán bien la gerencia anticipa el futuro y elabora las estrategias apropiadas [9].

El proceso de pronosticar involucra las siguientes etapas: a) formulación del problema, b) organización y depuración de datos, c) construcción y evaluación del modelo de pronóstico, d) implementación del modelo, e) evaluación de la implementación del modelo de pronóstico [6].

### **2.2 TIPOS DE PRONÓSTICOS**

Existen diferentes clasificaciones para los pronósticos, las cuales dependen del horizonte de tiempo, de su contexto, del producto obtenido, y del enfoque o

tratamiento de los datos [6]. La elección de un método depende de la necesidad para el cual este será utilizado.

El primer factor que es capaz de influir en la selección del método para preparar los pronósticos es el periodo de la situación de la predicción [7]. Según el horizonte de tiempo, tenemos que los pronósticos se clasifican en: a) Inmediato: Menos de un mes, b) Corto Plazo: De uno a tres meses, c) Mediano Plazo: Más de tres meses a menos de dos años, y d) Largo Plazo: Dos años o más.

En términos del contexto y detalle, los pronósticos pueden ser micro o macro, donde cuya elección implica el nivel de detalle requerido. Se utilizarán micro pronósticos cuando la variable a pronosticar no es de gran complejidad y no se cuente con una cantidad significativa de datos históricos, en caso contrario el pronóstico será de tipo macro [6].

Dependiendo de la naturaleza del producto obtenido, la clasificación está directamente asociada a la precisión del pronóstico y el nivel de incertidumbre, de esta forma los pronósticos se pueden clasificar como: a) Puntual: El pronóstico obtenido será un valor único, b) Por intervalo: Un intervalo de valores dentro del cual se espera que este el valor futuro, y c) De densidad: Distribución de probabilidad total del valor futuro.

Considerando su enfoque, estos métodos se dividen en dos tipos básicos: métodos cualitativos y cuantitativos. En los métodos cualitativos se utiliza por lo general el juicio de expertos para establecer pronósticos, prediciendo de forma subjetiva hechos futuros. Dichos procedimientos se utilizan a menudo cuando los datos históricos no están disponibles o son muy pocos [7]. Las técnicas puramente cuantitativas a diferencia de las cualitativas, no necesitan el juicio como insumo, pues se trata de procedimientos mecánicos para producir resultados cuantificables.

Estos métodos requieren una manipulación de datos mucho más compleja [6]. Los modelos cuantitativos se pueden agrupar en dos clases, modelos univariados y modelos causales.

Un modelo univariado para pronósticos predice valores futuros de una serie de tiempo con base sólo en los valores anteriores de la misma serie, con el objeto de identificar un patrón de datos, suponiendo que este patrón continuará en el futuro [7]. Por otro lado, los métodos de elaboración de pronósticos causal se basan en el supuesto de que la variable que tratamos de pronosticar exhibe una relación de causa y efecto con una o más variables [9]. En la Tabla 1 que se muestra a continuación, se resumen algunas técnicas de gran utilidad para realizar pronósticos teniendo en cuenta su enfoque.

Tabla 1. Resumen técnicas representativas de pronóstico.

| TIPO DE MODELO                           |                               | DESCRIPCIÓN   |
|--|-------------------------------|---|
| <b>Modelos cualitativos</b>              | Método Delphi                 | Preguntas hechas a un grupo de expertos para recabar opiniones                              |
|  | Datos históricos              | Hace analogías con el pasado de una manera razonada   |
|  | Técnica de grupo nominal      | Proceso de grupo que permite la participación con votación forzada                          |
| <b>Modelos cuantitativos univariable</b> | Media o promedio móvil simple | Promedia los datos del pasado para predecir el futuro basándose en ese promedio             |
|  | Suavizado exponencial         | Da pesos relativos a pronósticos anteriores y a la demanda más reciente                     |
| <b>Modelos cuantitativos causales</b>    | Análisis de regresión         | Describe una relación funcional entre las variables   |
|  | Modelos econométricos         | Proporciona un pronóstico global para variables tales como el producto nacional bruto (PNB) |

Fuente: EVERETT & EBERT [10].

Esta investigación se utilizan técnicas de pronóstico cuantitativas debido a se cuenta con una gran cantidad de datos históricos de la variable en estudio.

## 2.3 EVALUACIÓN DEL MODELO DE PRONÓSTICO

Uno de los criterios más importantes tanto para seleccionar como para evaluar un método de pronóstico es la exactitud. En muchos casos, el término exactitud se refiere a la “bondad de ajuste”, lo que a su vez tiene que ver con qué tan bien el modelo de predicción puede reproducir los datos que ya se conocen [11]. Con frecuencia, un examen de los errores del pronóstico en el tiempo indica si la técnica de predicción va de acuerdo o no con el patrón que presentan los datos históricos [7].

Una notación matemática para distinguir entre un valor real de la serie de tiempo y el valor del pronóstico se denota de la siguiente manera, donde el residuo, es la diferencia entre el valor real observado y su valor de pronóstico:

$$\begin{aligned} Y_t &= \text{Valor de una serie de tiempo en el período } t \\ \hat{Y}_t &= \text{Valor pronosticado de } Y_t \\ e_t &= Y_t - \hat{Y}_t = \text{residuo o error de pronóstico} \end{aligned} \quad (1)$$

Existen varios métodos que se utilizan para medir el error del pronóstico o evaluarlo. En esta investigación se utilizaron dos métodos de medición expresados en términos relativos (porcentaje de error). Estos fueron el error porcentual absoluto medio (MAPE) y el error porcentual medio (MPE).

*Error porcentual absoluto medio (MAPE):* Este enfoque es útil cuando el error relativo al tamaño respectivo del valor de la serie de tiempo es importante para la evaluación de la exactitud del pronóstico. Aplicar este método es especialmente conveniente cuando los valores  $Y_t$  son grandes. Sirve para comparar la exactitud

de la misma técnica de pronóstico o de otras técnicas en dos series completamente diferentes [6]. La Ecuación 2 muestra cómo se calcula el MAPE:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{|Y_t|} * 100 \quad (2)$$

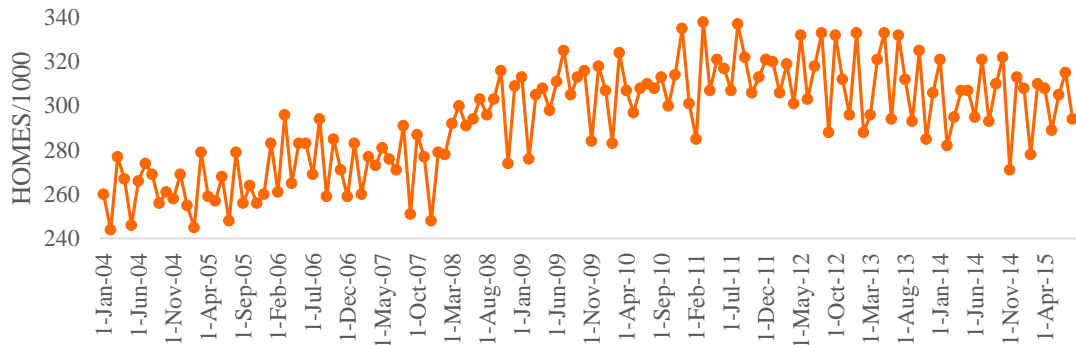
*Error porcentual medio (MPE):* Esta técnica se usa para determinar si el método para pronosticar está siendo sesgado ya sea con pronósticos consistentemente altos o con pronósticos consistentemente bajos. El MPE producirá un resultado cercano a cero, si el enfoque del pronóstico no tiene sesgo. Si el resultado es un porcentaje negativo grande, el método de elaboración del pronóstico está sobreestimando consistentemente. Por el contrario, si el resultado es un porcentaje positivo grande, el método de elaboración del pronóstico está subestimando consistentemente [6]. El MPE está dado por:

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} * 100 \quad (3)$$

## 2.4 SERIES DE TIEMPO

Una serie de tiempo es una sucesión cronológica de observaciones de una variable particular [7]. Las series de tiempo se estudian frecuentemente, con el fin de encontrar patrones que sirvan para la realización de un pronóstico. La gráfica que se muestra a continuación (Figura 1) es la representación de las observaciones recopiladas mensualmente desde el año 2004 al año 2015 de una de las unidades de negocio de la línea residencial del presente estudio.

Figura 1. Serie de tiempo B00175: WM of Ark Tenn Alabama Kentucky, Línea Residencial.

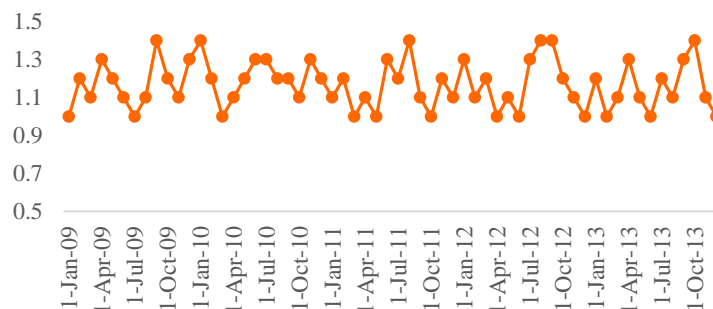


### 2.4.1 Patrones de datos en las series de tiempo

Un patrón se define como una variación que se presenta a lo largo del tiempo en donde se observa un comportamiento característico en los datos, que se vuelve a repetir posteriormente; estas variaciones se pueden presentar de manera anual, mensual, semestral o trimestral en diferentes períodos. Una serie de tiempo puede estar compuesta por diferentes patrones, dentro de los cuales se encuentran: horizontal o estacionario, estacional, tendencia y cíclico, adicionalmente se puede identificar un componente de tipo irregular, este no exhibe un comportamiento definido [6].

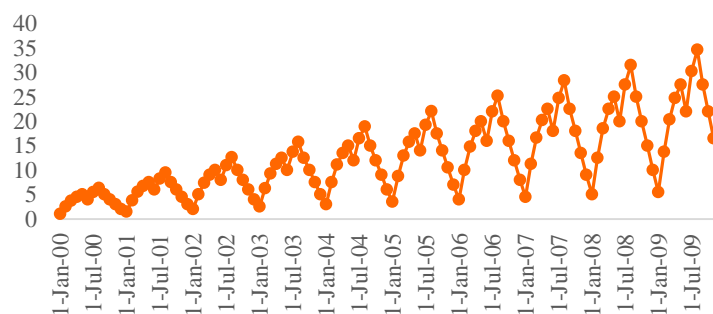
*Horizontal o Estacionario:* Se observa la presencia de un patrón estacionario cuando los datos recopilados se mantienen dentro de un rango constante a lo largo del tiempo.

Figura 2. Serie de tiempo con patrón estacionario



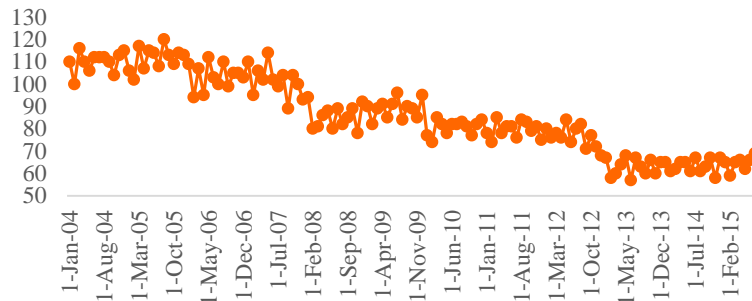
**Estacional:** Se refiere a un patrón de cambio que se repite así mismo año tras año, a menudo se presenta por causa del clima, las costumbres de la región o festividades.

Figura 3. Serie de tiempo con patrón estacional.



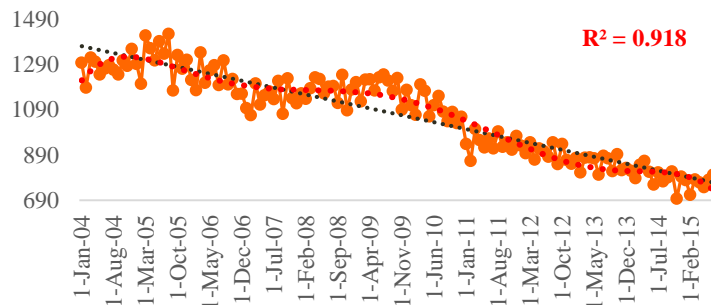
**Tendencia:** La tendencia es un componente de largo plazo que representa el crecimiento o descenso en la serie de tiempo, durante un periodo extenso.

Figura 4. Serie de tiempo con patrón de tendencia.



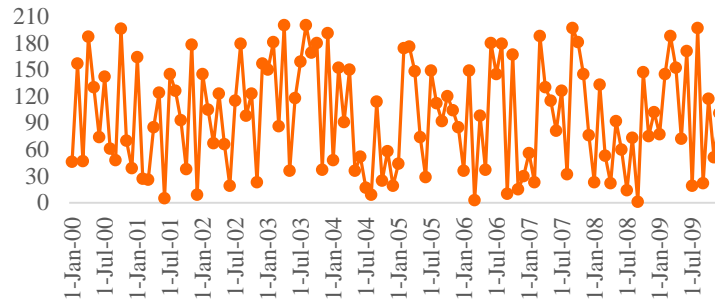
*Cíclico:* El componente cíclico es una fluctuación con forma de onda alrededor de la línea de tendencia. Para que se considere este comportamiento como cíclico, debe tener una duración desde dos a 10 años o más, medido de máximo a máximo o de mínimo a mínimo [7].

Figura 5. Serie de tiempo con patrón cíclico.



*Componente Irregular:* Son movimientos erráticos en una serie de tiempo que siguen un patrón indefinido o aleatorio. Estos movimientos representan lo que “resta” en una serie de tiempo después de que han sido explicados la tendencia, el ciclo, la horizontalidad y la estacionalidad. Las fluctuaciones irregulares muchas veces son causadas por hechos inusuales o impredecibles [7].

Figura 6. Serie de tiempo con componente aleatorio.



## 2.4.2 Análisis de autocorrelación

Se define como la correlación que existe entre una variable retrasada uno o más períodos consigo misma [6]. La autocorrelación mide para cada retardo o lapso de tiempo, el tipo o grado de correlación existente entre los valores de la serie separados entre sí por un período de tiempo igual a ese retardo usando el coeficiente de autocorrelación [8]. La Ecuación 4 es la fórmula para calcular el coeficiente de autocorrelación  $r_k$ . Por medio del análisis de autocorrelación de una variable se pueden estudiar e identificar patrones presentes en las series de tiempo, de allí radica su importancia.

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (Y_t - \bar{y})(Y_{t-k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{y})^2}, \quad k = 0, 1, 2 \dots \quad (4)$$

$r_k$  = Coeficiente de autocorrelación para un retraso de k períodos.

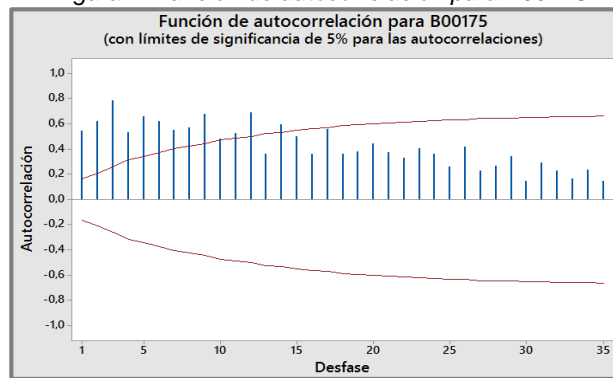
$\bar{y}$  = Media de los valores de la serie.

$Y_t$  = Observación en el período t

$Y_{t-k}$  = Observación k períodos anteriores o durante un período t – k

A la representación gráfica de las autocorrelaciones calculadas para varios retrasos de una serie de tiempo se le denomina función de autocorrelación o correlograma [6]. La Figura 7 muestra correlograma asociado a la serie de tiempo que de la Figura 1. En la escala horizontal de la gráfica se observa el número de retrasos de tiempo  $k$ . La escala vertical indica el rango posible en que pueden estar los coeficientes de autocorrelación, de 1 a -1.

Figura 7. Función de autocorrelación para B00175.



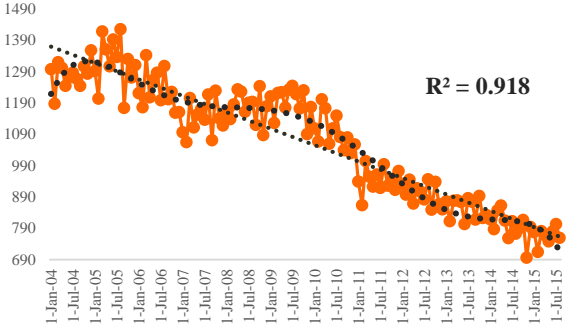
### 2.4.3 Criterios para la identificación de patrones en las series de tiempo

El reconocimiento de patrones en las series de tiempo se hace imprescindible para poder elegir un método de pronóstico apropiado. Esta elección requiere de datos e información histórica de la variable que se desea pronosticar, y que la información recopilada se pueda cuantificar. Por tanto, es razonable suponer que el patrón que se presentó en el pasado seguirá ocurriendo en el presente [9]. Existen dos métodos para la identificación de estos patrones: por medio visual y por medio del análisis de autocorrelación.

La identificación de forma visual se basa en criterios específicos, que están descritos en la Tabla 2 que se indica a continuación:

Tabla 2. Identificación de patrones de datos de forma visual.

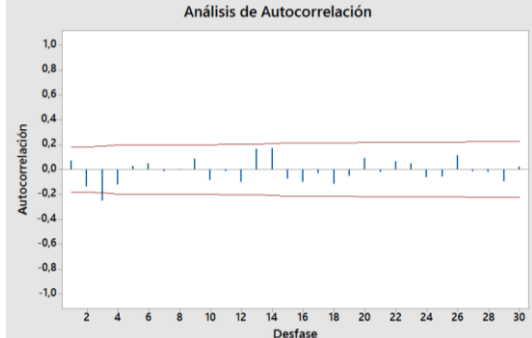
| CRITERIOS PARA IDENTIFICACIÓN DE PATRONES DE DATOS DE FORMA VISUAL |  |   |
|--|--|---|
| <p><b>Estacionario</b></p>   | <p>Propiedades estadísticas básicas como los son la media y la varianza permanecen constantes a lo largo del tiempo. Los datos oscilan alrededor de la media dentro de un rango fijo y presentan tendencia horizontal.</p>   |  <p>The chart displays a time series from 2009 to 2013. The y-axis ranges from 0.5 to 1.5. The data points fluctuate around a horizontal dashed line at approximately 1.15, indicating a stationary process with constant mean and variance.</p>  |
| <p><b>Estacional</b></p>   | <p>Observaciones que se repiten su comportamiento en la misma temporada del año durante un largo periodo de tiempo. Sólo puede existir en series que se miden con una frecuencia mensual, bimestral, trimestral, etc., pero no anual. Para series mensuales el componente estacional mide la variabilidad de la serie cada mes. Si la serie es trimestral, se mide la variabilidad de cuatro elementos estacionales, uno por cada trimestre.</p> |  <p>The chart shows a time series from 2000 to 2009. The y-axis ranges from 0 to 40. The data exhibits a clear seasonal pattern with peaks and troughs repeating annually. A text annotation in Spanish states: "En el mes de agosto se repite el mismo comportamiento creciente cada año." (In the month of August, the same increasing behavior repeats every year). The peaks are circled in the chart.</p> |
| <p><b>Tendencia</b></p>  | <p>Las observaciones crecen o decrecen consistentemente sobre un largo periodo de tiempo.</p>  |  <p>The chart displays a time series from 2004 to 2015. The y-axis ranges from 50 to 120. The data points show a consistent downward trend over the period. A dashed trend line is fitted to the data, and the coefficient of determination is given as <math>R^2 = 0.8829</math>.</p>  |

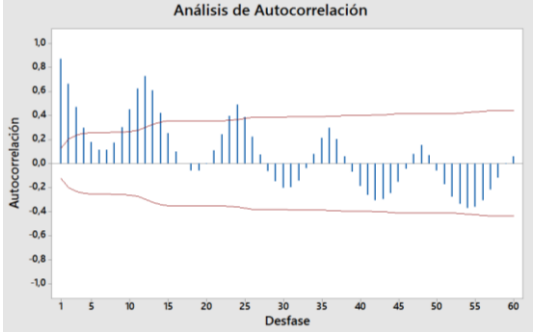
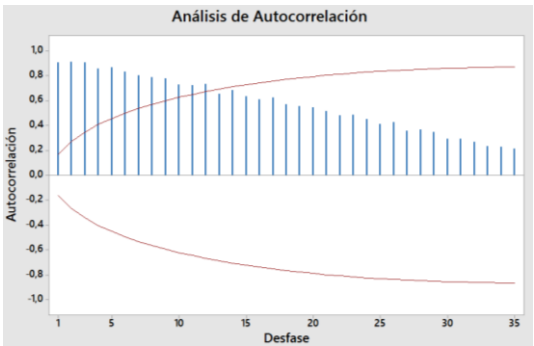
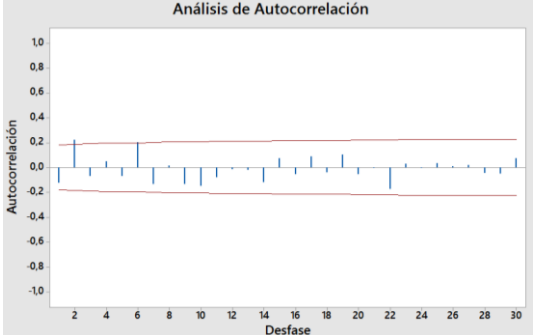
|                       |   |  |
|-----------------------|---|--|
| <p><b>Cíclico</b></p> | <p>Debe existir patrón de tendencia en los datos para que se presente un cíclico.</p> <p>Se caracterizan por tener lapsos de expansión y contracción en forma de onda.</p> <p>Se presenta oscilaciones de larga duración alrededor de la línea de tendencia, los cuales pueden o no ser periódicos.</p> <p>Se considera cíclico solo si se produce en un intervalo de tiempo superior de 2 a 10 años o más.</p> |  |
|-----------------------|---|--|

Fuente: Adaptada de HANKE & WICHERN [6].

La identificación por medio de análisis de autocorrelación es una opción más precisa para esclarecer el comportamiento predominante en una serie de tiempo. En la Tabla 3 se encuentran enumeradas las diferentes características que se pueden observar en la función de autocorrelación para los diferentes patrones.

Tabla 3. Identificación de patrones de datos por medio de análisis de autocorrelación.

| <b>CRITERIOS PARA IDENTIFICACIÓN DE PATRONES DE DATOS POR MEDIO DE ANÁLISIS DE AUTOCORRELACIÓN</b> |   |  |
|--|---|--|
| <p><b>Estacionario</b></p>   | <p>Los coeficientes de autocorrelación decrecen rápidamente hacia cero (generalmente después del segundo o tercer retraso).</p> |  |

|                          |   |  |
|--------------------------|---|--|
| <p><b>Estacional</b></p> | <p>Se presenta un coef. de autocorrelación significativo en el retraso de tiempo estacional. El retraso estacional se considera de 4 para datos trimestrales y de 12 para datos mensuales.</p>  |    |
| <p><b>Tendencia</b></p>  | <p>Las observaciones sucesivas se encuentran muy correlacionadas. Suele presentarse que los coef. de autocorrelación sean significativamente diferentes de cero para los primeros retrasos de tiempo. Los coef. de autocorrelación decrecen de forma gradual hacia cero conforme aumenta el número de retrasos. El coef. de autocorrelación para el retraso 1 será muy grande (cercano a 1) al igual que para el retraso 2.</p> |   |
| <p><b>Aleatorio</b></p>  | <p>Las correlaciones entre <math>Y_t</math> y <math>Y_{t-1}</math> para cualquier retraso <math>k</math>, son cercanas a cero. Los valores sucesivos de la serie de tiempo no se relacionan unos con otros.</p>   |  |

*Fuente: Adaptada de HANKE & WICHERN [6].*

## 2.5 MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN

El método de descomposición nos permite entender los componentes que influyen en cada uno de los valores de la serie de tiempo. Las condiciones de cada uno

de los componentes se pueden combinar con técnicas de pronósticos con la intención de generar pronósticos más completos mejorando así su precisión. Los modelos de descomposición se enfocan principalmente en series de tiempo que manifiestan tendencia y efectos estacionales. Estos modelos resultan ser muy útiles cuando los parámetros de las series de tiempo no cambian, y se pueden usar para generar pronósticos a corto plazo [7].

Para entender la descomposición se debe tener claro que el principal distintivo de los componentes radica en que se pueden estimar. Es decir, son parámetros que componen la variable de estudio, los cuales se combinan para proporcionar valores específicos de la serie de tiempo. Estos componentes son: tendencia, ciclo, estacional e irregular [6].

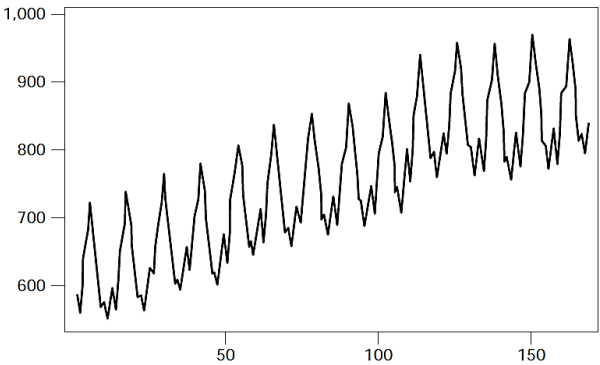
- **Componente de tendencia:** Cambio o movimiento gradual de la serie de tiempo a valores relativamente más altos o más bajos durante un periodo prolongado.
- **Componente cíclico:** Componente de una serie de tiempo que representa el comportamiento periódico por encima y por debajo de la tendencia de la serie de tiempo en lapsos mayores que un año.
- **Componente estacional:** Componente de una serie de tiempo que representa la variabilidad en los datos debido a influencias estacionales.
- **Componente irregular o aleatorio:** Componente de una serie de tiempo que explica su variabilidad aleatoria [9].

Es difícil tratar con el componente cíclico de una serie de tiempo. En la medida en que los ciclos puedan determinarse a partir de los datos históricos, tanto su duración (medida en años) como su magnitud (diferencias entre altas y bajas) están lejos de ser constantes. Esta falta de un patrón consistente de la onda hace que se dificulte la distinción entre los ciclos y las tendencias que evolucionan con suavidad. En

consecuencia, para simplificar el método, se supone que cualquier ciclo en los datos es formará parte de la tendencia. [6].

Al estudiar los componentes de una serie de tiempo, se debe considerar cómo se relacionan con la serie original. Existen dos modelos matemáticos que relacionan los valores la serie de tiempo original ( $Y_t$ ) con los componentes de la tendencia ( $T_t$ ), estacionales ( $S_t$ ) e irregulares ( $I_t$ ). Un modelo que trata los valores de la serie de tiempo como una suma de los componentes se llama modelo aditivo de los componentes. Un modelo que trata los valores de las series de tiempo como el producto de los componentes se llama modelo multiplicativo de los componentes.

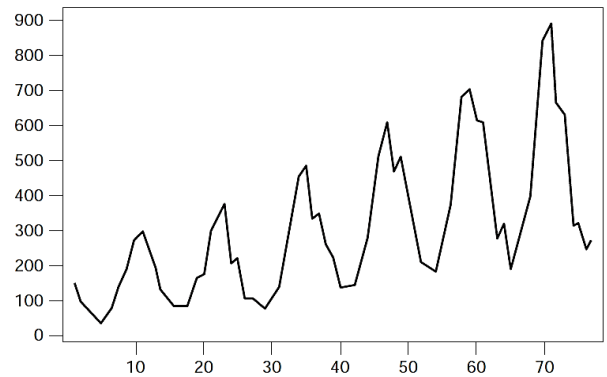
Tabla 4. Modelos de componentes.

| <b>MODELOS DE COMPONENTES</b>  |  |
|--|--|
| <b>Aditivo</b>   |  |
| $Y_t = T_t + S_t + I_t \text{ (5)}$  |  |
| <p>Se utiliza en análisis donde la serie tiene la misma variabilidad. Es decir, en esencia, todos los valores de la serie caen dentro de una banda de ancho constante centrada en la tendencia. Un modelo de datos en el que los efectos de los factores individuales se diferencian y se agrupan para modelar los datos [13].</p> |  |

### Multiplicativo

$$Y_t = T_t * S_t * I_t \quad (6)$$

Se emplea cuando la variabilidad de la serie aumenta con el nivel, los valores de la serie se dispersan conforme la tendencia aumenta. El modelo de componentes multiplicativo funciona mejor cuando la variabilidad de la serie de tiempo aumenta con el nivel [6].



Para este proyecto se empleó un modelo de componentes multiplicativo a causa de la complejidad de las series de tiempo, en la relación entre los componentes no se puede identificar la independencia de los mismos, por lo tanto, se adopta este modelo.

Para desarrollar el proceso de descomposición se utiliza la teoría de promedios móviles con la finalidad de obtener el componente de tendencia. Estos promedios son calculados a partir de subgrupos artificiales de observaciones consecutivas. Un promedio móvil de orden k es el valor de la media de k observaciones consecutivas [13]. Promedio móvil para k periodos de tiempo, se calcula como sigue:

$$\text{Promedio Móvil} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1}}{k} \quad (5)$$

Donde:

Y<sub>t</sub> = valor real en el periodo t

k = número de términos en el promedio móvil

En el método de descomposición se calculan los índices estacionales que definen el componente estacional del periodo de estudio. Son porcentajes de variación mensual que indican los cambios en el tiempo. Permiten observar que periodos del año son relativamente bajos y que periodos son relativamente altos. Los índices estacionales se obtienen con los datos sin tendencia. Con los datos mensuales, por ejemplo, un índice estacional de 1.0 para un mes particular significa que el valor esperado para ese mes es de  $1/12$  del total del año. Un índice de 1.25 para un mes diferente implica que se espera que la observación para ese mes sea un 25% mayor que  $1/12$  del total anual. Un índice mensual de 0.80 indica que el nivel esperado de actividad para ese mes es 20% menor que  $1/12$  del total del año, y así sucesivamente [6].

## **2.6 METODOLOGÍA BOX-JENKINS (ARIMA)**

Los modelos autorregresivos integrados de promedio móvil (**ARIMA**), fueron impulsados por los estadísticos George E. P. Box y Gwilym M. Jenkins. El fundamento de este método está basado en un proceso iterativo para identificar un posible modelo lineal que sea capaz de representar tanto series de tiempo estacionarias como no estacionarias, utilizando la información presente en la serie de tiempo para generar los pronósticos. Esta metodología no supone ningún patrón particular en los datos históricos de la serie a pronosticar, pero su implementación está bastante ligada a los patrones de autocorrelación de los datos [6]. La estrategia para la construcción de un modelo Box-Jenkins se ilustra como se muestra a continuación:

Figura 8. Diagrama de flujo estrategia de construcción de un modelo.



Fuente: Box, Jenkins & Reinsel [14].

Un modelo ARIMA es la combinación de dos modelos, uno autorregresivo (AR), un componente que indica la integración (I) y un modelo de promedio móvil (MA), estos parámetros estarán identificados según su orden como  $(p, d, q)$  respectivamente. En caso de que la serie de tiempo sea puramente estacionaria el componente de integración se omite reduciendo el método a un modelo (ARMA).

- El modelo autorregresivo (AR) de orden  $p$  tiene la forma:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_n Y_{t-n} + e_t \quad (6)$$

Donde:

$Y_t$  = Variable dependiente a pronosticar

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-n}$  = Variables rezagadas de la variable dependiente  $Y_t$

$\phi$  = Coeficientes a estimar

$e_t$  = Término de error en el tiempo  $t$

- Un modelo de promedio móvil (MA) de orden  $q$  se puede expresar como:

$$Y_t = \mu + e_t + \omega_1 e_{t-1} + \omega_2 e_{t-2} + \dots + \omega_q e_{t-q} \quad (7)$$

Donde:

$Y_t$  = Variable dependiente a pronosticar

$\mu$  = Promedio constante en el proceso

$\omega$  = Coeficientes a estimar

$e_t$  = Término de error en el tiempo  $t$

$e_{t-1}, e_{t-2}, \dots, e_{t-q}$  = Errores de pronósticos previos o magnitud de rezago

- El modelo de promedio móvil autorregresivo (ARMA) de orden  $p, q$  se define como:

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_n Y_{t-n} + e_t - \omega_1 e_{t-1} - \omega_2 e_{t-2} - \dots - \omega_q e_{t-q} \quad (8)$$

### **3. METODOLOGÍA**

La metodología que se llevó a cabo para la realización de esta investigación según los objetivos trazados se desarrolló en cinco fases las cuales se enuncian y describen a continuación:

#### **3.1 FASE I: Diseño y datos de investigación**

En este estudio se utilizó un diseño de investigación longitudinal, que consistió en analizar cambios a través del tiempo de las variables [17]. En este estudio, la variable de interés se encuentra en términos de **viviendas atendidas (Homes)**, pertenecientes a la línea residencial. Los datos fueron recopilados mensualmente durante el periodo de 2004 a 2015. Esta información fue suministrada por una empresa estadounidense encargada de prestar el servicio de recolección.

#### **3.2 FASE II: Organización y limpieza de datos**

Esta etapa incluyó un proceso de depuración de los datos, en donde la información fue organizada y resumida según los niveles operativos que maneja la empresa que suministró los datos. Estos se agruparon en tres líneas diferentes: comercial, residencial e industrial. Se realizó el análisis estadístico de los datos, gráficos de dispersión respectivos e identificación de mínimos y máximos empleando para el proceso empleando Excel® y Power Point®.

#### **3.3 FASE III: Análisis de comportamiento de los datos**

En esta fase se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos previamente organizados, en donde se identificaron patrones de comportamiento examinando las características que presentaban las series de tiempo y a su vez se realizó un

análisis de autocorrelación que permitió determinar el nivel de correlación de los datos. Las herramientas que se utilizaron para realizar esta fase fueron Excel® y Minitab®.

### **3.4 FASE IV: Selección de método de pronóstico**

Con base en los resultados de los análisis exploratorios, se procedió a seleccionar los métodos de pronóstico más adecuados que se ajusten al comportamiento de los datos con el fin de predecir los volúmenes de residuos sólidos críticos. Nuestro estudio encontró que el método de pronóstico que satisfacía los requerimientos iniciales para pronosticar y planificar las operaciones de la empresa de gestión de RSU fue el método Box-Jenkins. La metodología utilizada para la aplicación del método se describe a continuación:

En primera instancia, se verificó si las series de tiempo presentaban patrones estacionarios, para proponer modelos tentativos encontrando los valores apropiados de  $p$ ,  $d$  y  $q$  correspondientes a la parte autorregresiva, integrativa y de promedio móvil respectivamente [16]. Para este proceso se llevó a cabo una comparación entre las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales calculadas a partir de la serie de tiempo con las autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales teóricas de los diferentes modelos ARIMA [6].

Habiendo identificado los valores de  $p$ ,  $d$  y  $q$ , el siguiente paso consistió en estimar los parámetros de los términos autorregresivos y de media móvil incluidos en el modelo. Generalmente esta labor se lleva a cabo a través de herramientas computacionales, para el caso de esta investigación se utilizó el software Minitab®.

Luego, se calculó el error cuadrático medio de los residuos, una estimación de la varianza del error et. Este cálculo es útil para evaluar el ajuste y para comparar

diferentes modelos. También se utiliza para calcular los límites del error del pronóstico [6].

$$s^2 = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n-r} = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n-r} \quad (9)$$

Donde:

$e_t = Y_t - \hat{Y}_t$  = Residuo para el tiempo t

n= Número de residuos

r= Número total de parámetros estimados

Después de seleccionar un modelo ARIMA particular y de estimar sus parámetros, se evaluó si el modelo seleccionado se ajusta a los datos en forma adecuada, ya que es posible que exista otro modelo ARIMA que también lo haga. Se debe tener en cuenta que las autocorrelaciones residuales individuales deben ser pequeñas dentro de  $\pm 2/\sqrt{n}$  de cero, de lo contrario el modelo es inadecuado y debe cambiarse o modificarse.

Finalmente se procedió a construir modelos de pronósticos con el modelo seleccionado, validando el modelo con intervalos de predicción definidos posteriormente. Se realizó una verificación de los errores de pronóstico, para detectar si los errores más recientes tienden a ser sistemáticamente más grandes que los errores anteriores, y en ese caso, reevaluar el modelo y plantear uno nuevo [6].

### **3.5 FASE V: Evaluación del método de pronóstico**

Finalmente, en la última fase se procede a evaluar la exactitud del método de pronóstico calculando los índices precisión. Se utilizó el error porcentual absoluto medio (MAPE) y error porcentual medio (MPE).

#### **4. DATOS EMPLEADOS EN LA ELABORACIÓN DE PRONÓSTICOS**

La elaboración de los pronósticos se llevó a cabo a partir del análisis y estudio de los datos recolectados de una de las líneas de trabajo de la empresa, denominada "línea residencial", donde se suministraron datos de unidades de vivienda atendidas. Esta línea residencial fue observada en 17 centros de atención y recolección dentro de un área de operación de la empresa que incluye los estados de Texas y Oklahoma (Anexo A).

## **5. RESULTADOS**

Esta sección presenta los resultados de la investigación, según la metodología y los objetivos desarrollados, comprendidos en cuatro incisos: a) Organización y limpieza de datos, b) análisis de comportamiento de los datos, c) selección del método de pronóstico, d) evaluación del método de pronóstico.

### **5.1 ORGANIZACIÓN Y LIMPIEZA DE DATOS**

Para desarrollar adecuadamente los pronósticos fue necesario depurar los datos. La información se organizó y resumió en los niveles operativos de la empresa: Line (línea de trabajo), Market Area (área de mercado/zona operativa) y Business Unit (unidad de negocio/centros de recolección). En el presente estudio se analizaron los datos de la zona operativa No. 17 (Texas-Oklahoma), constituidos por 17 centros de recolección, que fueron suministrados en series de tiempo de número de viviendas atendidas (Ver Anexo B).

### **5.2 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS**

A partir de los datos organizados para la línea residencial en estudio, se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos en donde se identificaron patrones existentes y se realizó un estudio de los componentes que infieren en la serie de tiempo con el fin de esclarecer el comportamiento de los datos examinados.

#### **5.2.1 Identificación de patrones**

El proceso para la identificación de patrones se realizó con base a los criterios desarrollados en la sección 2.4.3, en donde se describe como identificar el comportamiento de los datos por medio de un análisis visual de la serie de tiempo

y también empleando la función de autocorrelación asociada a los datos. Para este proceso se utilizó el software Minitab®, de donde se obtuvieron los correlogramas para cada una de las series de tiempo. La información se organizó y se presentó como se observa en el Anexo C.

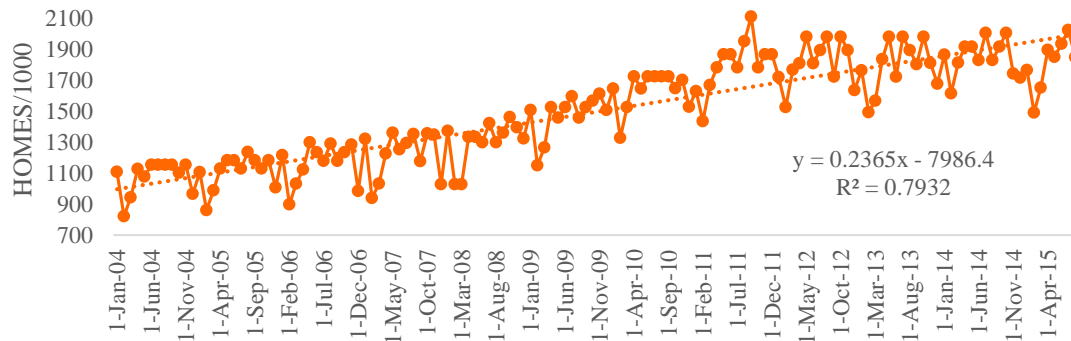
### 5.2.2 Componentes

A partir de la implementación del método de descomposición, se obtuvieron los componentes que conforman las series de tiempo, T, S, I. A continuación, se presenta el proceso realizado, con los datos de la línea residencial L2-M4-B00657 utilizando un **modelo multiplicativo** (Tabla 4) para obtener los componentes de la serie de tiempo.

*Tabla 5. Datos históricos B00657, M4, Línea Residencial.*

|            | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Jan</b> | 1109 | 1108 | 1217 | 1324 | 1375 | 1509 | 1648 | 1632 | 1723 | 1766 | 1869 |
| <b>Feb</b> | 822  | 861  | 899  | 939  | 1028 | 1152 | 1330 | 1438 | 1528 | 1495 | 1617 |
| <b>Mar</b> | 944  | 990  | 1034 | 1033 | 1028 | 1267 | 1529 | 1672 | 1771 | 1570 | 1816 |
| <b>Apr</b> | 1129 | 1130 | 1124 | 1227 | 1335 | 1529 | 1727 | 1785 | 1812 | 1840 | 1920 |
| <b>May</b> | 1079 | 1184 | 1301 | 1362 | 1335 | 1460 | 1648 | 1871 | 1984 | 1984 | 1920 |
| <b>Jun</b> | 1155 | 1184 | 1236 | 1254 | 1300 | 1529 | 1727 | 1871 | 1812 | 1725 | 1833 |
| <b>Jul</b> | 1155 | 1130 | 1180 | 1296 | 1424 | 1599 | 1727 | 1785 | 1898 | 1984 | 2008 |
| <b>Aug</b> | 1155 | 1238 | 1292 | 1355 | 1300 | 1460 | 1728 | 1956 | 1984 | 1898 | 1833 |
| <b>Sep</b> | 1155 | 1184 | 1180 | 1178 | 1362 | 1529 | 1728 | 2114 | 1725 | 1806 | 1920 |
| <b>Oct</b> | 1103 | 1130 | 1236 | 1359 | 1464 | 1569 | 1650 | 1785 | 1984 | 1984 | 2008 |
| <b>Nov</b> | 1155 | 1184 | 1286 | 1351 | 1397 | 1616 | 1704 | 1870 | 1898 | 1814 | 1746 |
| <b>Dec</b> | 966  | 1009 | 986  | 1028 | 1325 | 1509 | 1530 | 1870 | 1639 | 1679 | 1718 |

Figura 9. Serie de tiempo B00657, M4, Línea Residencial.



### *Tendencia-Ciclo/media móvil centrada*

Para hallar el componente de tendencia se realizó una regresión lineal que representa la tendencia ideal. Esta es una línea recta que muestra cómo crece o decrece la serie de tiempo. Al ajustar los datos a una línea recta no considera el componente cíclico que es la variación de la tendencia a lo largo de la serie de tiempo. Por tal motivo, se implementó el procedimiento de la media móvil centrada con la finalidad de hallar la línea base de la serie de tiempo, es decir, se obtuvieron los valores que representan el componente unificado tendencia-ciclo.

El periodo estacional que se utilizó fue de un año, por lo tanto, obedece a 12 datos. Al aplicar la **media móvil** para el periodo de análisis se perdieron 12 datos del total de la serie de tiempo, los cuales se repartieron al inicio y al final de la serie de tiempo obteniendo la **media móvil centrada**.

La Tabla 6 muestra la primera etapa del procedimiento, este consistió en hallar el promedio móvil de los primeros 12 datos de la serie de tiempo. El resultado del primer promedio se ubica en el mes de Julio, teniendo en cuenta que se van a perder la misma cantidad de datos a la que es igual el periodo de estudio (12 meses). Al seguir realizando el proceso, se llega a un punto en dónde no se puede seguir la

operación perdiendo sólo 5 valores. Es decir, perdimos 11 observaciones en total, 6 al inicio y 5 al final. Para centrar la línea base se realizó el mismo proceso anterior, pero ahora con un periodo de 2 observaciones para realizar el promedio. Los resultados del proceso se encuentran en la

Tabla 7, en la cual se muestra la línea base de la serie de tiempo que contiene el componente tendencia-ciclo.

*Tabla 6. Promedio móvil no centrado para B00657, M4, Línea Residencial.*

|            | 2004     | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014     |
|------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| <b>Jan</b> | <b>4</b> | 1095,5 | 1140,5 | 1191,6 | 1247,3 | 1393,2 | 1574,3 | 1694,7 | 1834,2 | 1792,3 | 1845,0   |
| <b>Feb</b> | <b>2</b> | 1093,4 | 1144,7 | 1201,3 | 1258,0 | 1407,8 | 1584,9 | 1699,5 | 1843,6 | 1799,5 | 1847,0   |
| <b>Mar</b> | <b>3</b> | 1100,3 | 1149,2 | 1206,5 | 1253,4 | 1421,1 | 1607,3 | 1718,5 | 1845,9 | 1792,3 | 1841,6   |
| <b>Apr</b> | <b>4</b> | 1102,8 | 1148,8 | 1206,3 | 1268,8 | 1435,0 | 1623,8 | 1750,7 | 1813,5 | 1799,1 | 1851,1   |
| <b>May</b> | <b>5</b> | 1105,0 | 1157,7 | 1216,6 | 1277,5 | 1443,8 | 1630,6 | 1761,9 | 1830,1 | 1799,1 | 1853,1   |
| <b>Jun</b> | <b>6</b> | 1107,4 | 1166,2 | 1222,0 | 1281,3 | 1462,0 | 1637,9 | 1775,8 | 1832,4 | 1792,1 | 1847,4   |
| <b>Jul</b> | 1077,3   | 1111,0 | 1164,3 | 1225,5 | 1306,1 | 1477,3 | 1639,7 | 1804,1 | 1813,2 | 1795,4 | 1850,7   |
| <b>Aug</b> | 1077,2   | 1120,1 | 1173,2 | 1229,8 | 1317,3 | 1488,9 | 1638,3 | 1811,7 | 1816,8 | 1804,0 | <b>4</b> |
| <b>Sep</b> | 1080,4   | 1123,3 | 1176,5 | 1237,2 | 1327,6 | 1503,8 | 1647,3 | 1819,2 | 1814,0 | 1814,2 | <b>2</b> |
| <b>Oct</b> | 1084,3   | 1126,9 | 1176,4 | 1236,8 | 1347,5 | 1525,6 | 1659,3 | 1827,4 | 1797,3 | 1834,7 | <b>3</b> |
| <b>Nov</b> | 1084,3   | 1126,4 | 1185,0 | 1245,8 | 1363,7 | 1542,1 | 1664,1 | 1829,7 | 1799,6 | 1841,3 | <b>4</b> |
| <b>Dec</b> | 1093,1   | 1136,2 | 1190,1 | 1243,5 | 1374,1 | 1557,8 | 1682,7 | 1839,1 | 1799,6 | 1836,0 | <b>5</b> |

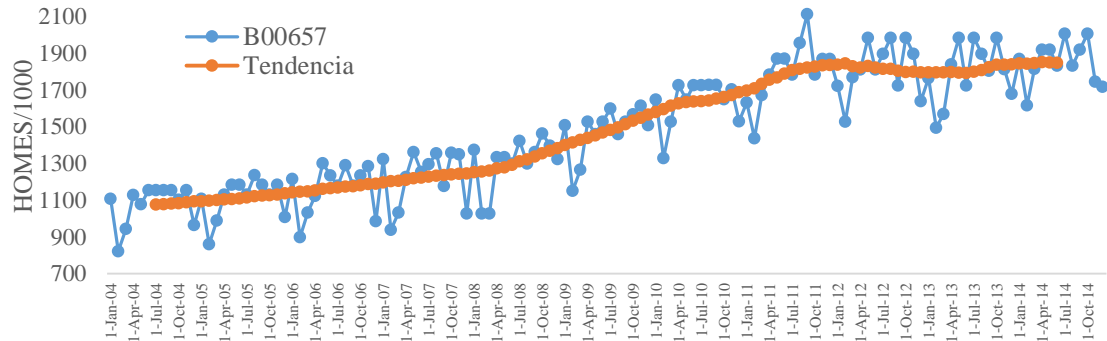
*Tabla 7. Promedio móvil centrado para B00657, M4, Línea Residencial.*

|            | 2004     | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014     |
|------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| <b>Jan</b> | <b>4</b> | 1094,5 | 1142,6 | 1196,4 | 1252,7 | 1400,5 | 1579,6 | 1697,1 | 1838,9 | 1795,9 | 1846,0   |
| <b>Feb</b> | <b>2</b> | 1096,9 | 1146,9 | 1203,9 | 1255,7 | 1414,4 | 1596,1 | 1709,0 | 1844,8 | 1795,9 | 1844,3   |
| <b>Mar</b> | <b>3</b> | 1101,5 | 1149,0 | 1206,4 | 1261,1 | 1428,0 | 1615,5 | 1734,6 | 1829,7 | 1795,7 | 1846,3   |
| <b>Apr</b> | <b>4</b> | 1103,9 | 1153,3 | 1211,5 | 1273,1 | 1439,4 | 1627,2 | 1756,3 | 1821,8 | 1799,1 | 1852,1   |
| <b>May</b> | <b>5</b> | 1106,2 | 1161,9 | 1219,3 | 1279,4 | 1452,9 | 1634,3 | 1768,8 | 1831,3 | 1795,6 | 1850,3   |
| <b>Jun</b> | <b>6</b> | 1109,2 | 1165,2 | 1223,8 | 1293,7 | 1469,7 | 1638,8 | 1789,9 | 1822,8 | 1793,8 | 1849,0   |
| <b>Jul</b> | 1077,2   | 1115,5 | 1168,7 | 1227,6 | 1311,7 | 1483,1 | 1639,0 | 1807,9 | 1815,0 | 1799,7 | <b>4</b> |
| <b>Aug</b> | 1078,8   | 1121,7 | 1174,8 | 1233,5 | 1322,4 | 1496,3 | 1642,8 | 1815,4 | 1815,4 | 1809,1 | <b>2</b> |

|            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |          |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| <b>Sep</b> | 1082,3 | 1125,1 | 1176,5 | 1237,0 | 1337,5 | 1514,7 | 1653,3 | 1823,3 | 1805,6 | 1824,4 | <b>3</b> |
| <b>Oct</b> | 1084,3 | 1126,7 | 1180,7 | 1241,3 | 1355,6 | 1533,8 | 1661,7 | 1828,5 | 1798,4 | 1838,0 | <b>4</b> |
| <b>Nov</b> | 1088,7 | 1131,3 | 1187,5 | 1244,6 | 1368,9 | 1549,9 | 1673,4 | 1834,4 | 1799,6 | 1838,7 | <b>5</b> |
| <b>Dec</b> | 1094,3 | 1138,3 | 1190,8 | 1245,4 | 1383,6 | 1566,0 | 1688,7 | 1836,6 | 1796,0 | 1840,5 | <b>6</b> |

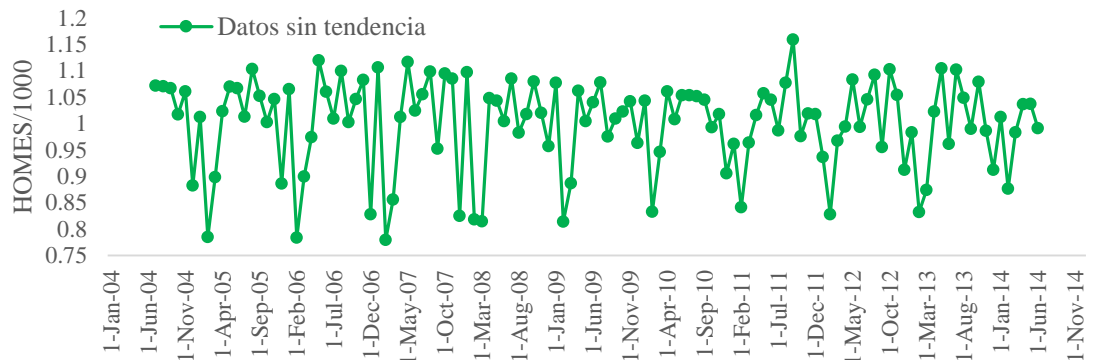
En la Figura 10 se aprecia el componente tendencia-ciclo en la serie de tiempo, después de haber aplicado el proceso de la media móvil centrada.

Figura 10. Representación gráfica de la serie de tiempo y el componente unificado tendencia-ciclo



La serie de tiempo sin tener en cuenta el componente de tendencia-ciclo se observa en la Figura 11. Está gráfica se obtuvo dividiendo la observación original  $Y_t$  sobre el componente  $T_t$ . Con estos datos se procede a realizar el análisis para hallar los índices estacionales.

Figura 11. Representación gráfica de la serie de tiempo sin el componente unificado tendencia-ciclo.



### Estacionalidad/Índices

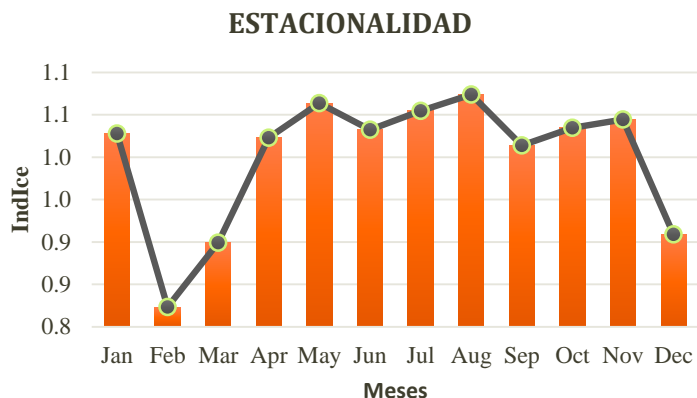
Luego de tener los datos de la serie de tiempo sin el componente de  $T_t$  se calculó la mediana para cada mes a partir de las observaciones registradas en cada año como se muestra en la Tabla 8. Al emplear la mediana en lugar de la media, se elimina la influencia de los datos que son inusualmente grandes o pequeños para un mes de un año en particular [6]. Se verificó que la suma de los índices fuese igual al número de valores del periodo estacional. De no ser así, se ajusta multiplicando cada índice por una constante, esta se halla dividiendo el período estacional (12 para nuestro caso) entre el valor total de la suma de la mediana de cada mes (12,002).

Tabla 8. Índices estacionales.

| Mes          | Mediana       | Índice estacional ajustado a la mediana |
|--------------|---------------|---|
| Jan          | 1,0279        | 1,0277                                  |
| Feb          | 0,8235        | 0,8234                                  |
| Mar          | 0,8993        | 0,8992                                  |
| Apr          | 1,0232        | 1,0231                                  |
| May          | 1,0640        | 1,0639                                  |
| Jun          | 1,0325        | 1,0324                                  |
| Jul          | 1,0547        | 1,0545                                  |
| Aug          | 1,0740        | 1,0739                                  |
| Sep          | 1,0139        | 1,0137                                  |
| Oct          | 1,0349        | 1,0347                                  |
| Nov          | 1,0446        | 1,0445                                  |
| Dec          | 0,9091        | 0,9090                                  |
| <b>Total</b> | <b>12,002</b> | <b>12,000</b>                           |

P = 12; Multiplicador = 0,999855777

Figura 12. Índices estacionales.



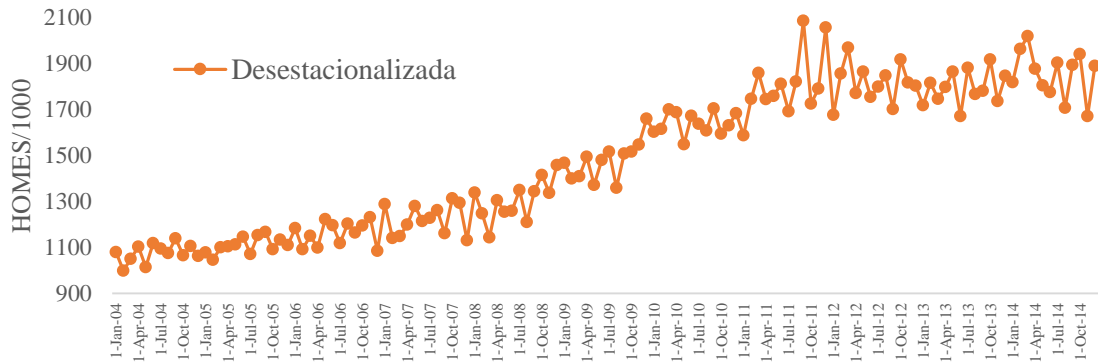
Los índices estacionales nos muestran los meses donde se van a presentar valores máximos y mínimos, siendo estos los eventos críticos de los procesos operacionales para la recolección de RSU. En esta unidad de negocio, se aprecian volúmenes bajos para los meses de Febrero, Marzo y Diciembre. En la Tabla 9, se demuestra la veracidad de los índices estacionales, observándose siempre como valor mínimo el mes de Febrero a lo largo del tiempo.

Tabla 9. Valores máximos y mínimos mensuales L2-M4-B00657.

| Year           | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Maximum</b> | 1155 | 1238 | 1301 | 1362 | 1464 | 1616 | 1728 | 2114 | 1984 | 1984 | 2008 | 2027 |
| <b>Month</b>   | Jun  | Aug  | May  | May  | Oct  | Nov  | Aug  | Sep  | May  | May  | Jul  | Jul  |
| <b>Minimum</b> | 822  | 861  | 899  | 939  | 1028 | 1152 | 1330 | 1438 | 1528 | 1495 | 1617 | 1494 |
| <b>Month</b>   | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  | Feb  |

La Figura 13 es la representación gráfica de las observaciones sin tener en cuenta el componente estacional.

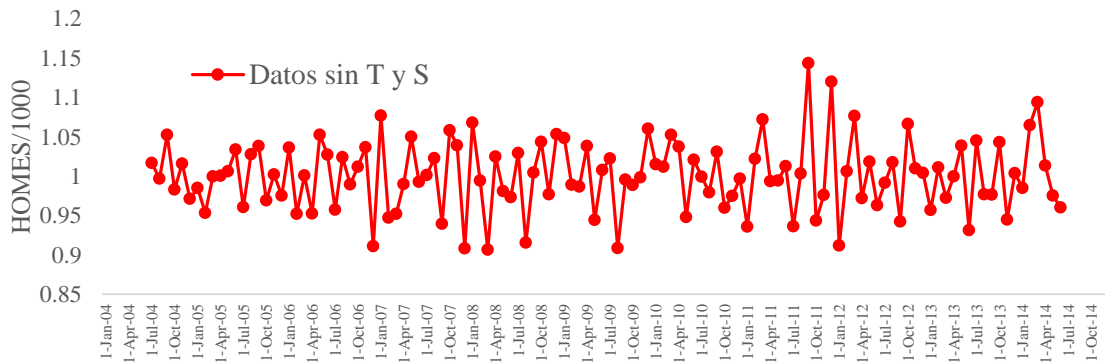
Figura 13. Representación gráfica de la serie de tiempo sin el componente estacional.



Irregular o aleatorio/Restante

El componente irregular o aleatorio, no se puede explicar, comprende lo que resta, luego de extraer los componentes de tendencia y estacionalidad. (Figura 14).

Figura 14. Representación gráfica de la serie de tiempo sin el componente estacional y tendencia.



Como resultado de esta fase se identificaron los patrones de comportamiento y los componentes en cada una de las series correspondientes al Zona Operativa 17: Texas-Oklahoma de la línea residencial.

### **5.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO**

Para seleccionar métodos de pronósticos apropiados se realizó una revisión bibliográfica con el fin de medir la exactitud de varias técnicas. Muchos de los métodos estudiados resultaron incompatibles con los datos debido a su variabilidad, por lo cual no arrojarían pronósticos confiables. Las técnicas que mejor describieron los valores futuros fueron los pronósticos estacionales por descomposición y la metodología Box-Jenkins. A continuación, se presentan los pronósticos generados por los métodos ya mencionados.

#### **5.3.1 Pronóstico estacional por descomposición**

Analizando los correlogramas de las series de tiempo en estudio, se apreció que gran parte de las observaciones poseen estacionalidad, lo que hace relevante la elaboración de pronósticos implementando el método de descomposición. Para generar el pronóstico, se invirtió el proceso de descomposición. En vez de separar la serie en sus componentes individuales para su examen, se recombinan los componentes para elaborar los pronósticos de períodos futuros **[6]**.

Como se menciona anteriormente, para el análisis se utilizó el modelo multiplicativo, por lo tanto, el pronóstico se calcula como sigue. No se tiene en cuenta el componente irregular debido a que las fluctuaciones representan una variación aleatoria, que no es explicable a través de otros componentes. Para efectos del pronóstico al componente irregular se le asignó el valor de uno:

$$\hat{Y}_t = T_t * S_t * I_t \quad (6)$$

Tabla 10. Pronóstico estacional por método de descomposición.

| Date     | Yt   | Tt      | St    | Ŷt      |
|----------|------|---------|-------|---------|
| 1-Jan-15 | 1769 | 1988,21 | 1,028 | 2043,36 |
| 1-Feb-15 | 1494 | 1996,01 | 0,823 | 1643,44 |
| 1-Mar-15 | 1655 | 2003,06 | 0,899 | 1801,14 |
| 1-Apr-15 | 1899 | 2010,86 | 1,023 | 2057,23 |
| 1-May-15 | 1854 | 2018,41 | 1,064 | 2147,36 |
| 1-Jun-15 | 1939 | 2026,22 | 1,032 | 2091,86 |
| 1-Jul-15 | 2027 | 2033,77 | 1,055 | 2144,69 |
| 1-Aug-15 | 1851 | 2041,57 | 1,074 | 2192,41 |

En la Figura 15 se observa el pronóstico para 8 observaciones correspondientes al periodo de enero a agosto de 2015, después de haber identificado en la sección 5.2.2 cada uno de los componentes que conforman la serie de tiempo.

Figura 15. Pronóstico empleando método de descomposición.

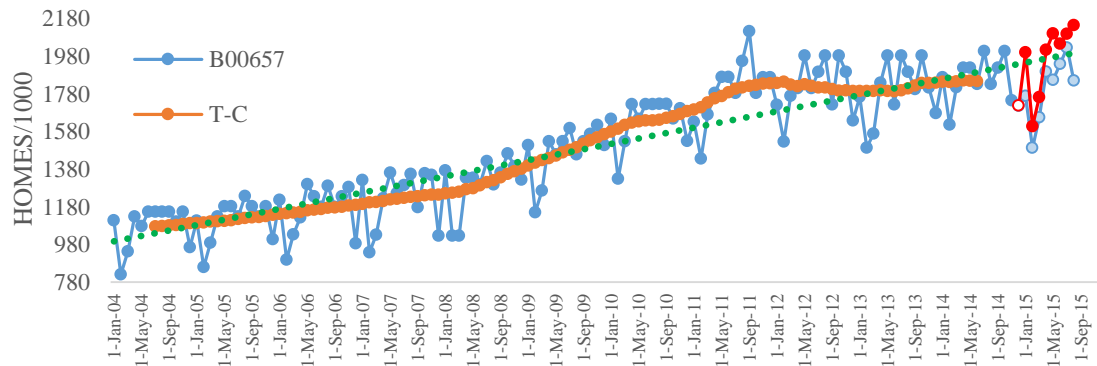


Tabla 11. Error del pronóstico.

| Date     | Yt   | Ŷt      | Yt-Ŷt   | Yt   | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt    | Yt-Ŷt/Yt |
|----------|------|---------|---------|------|------------|----------|----------|
| 1-Jan-15 | 1769 | 2001,81 | 232,810 | 1769 | 0,132      | -232,810 | -0,132   |
| 1-Feb-15 | 1494 | 1609,76 | 115,763 | 1494 | 0,077      | -115,763 | -0,077   |
| 1-Mar-15 | 1655 | 1763,99 | 108,987 | 1655 | 0,066      | -108,987 | -0,066   |
| 1-Apr-15 | 1899 | 2014,47 | 115,469 | 1899 | 0,061      | -115,469 | -0,061   |

|                 |      |         |         |          |       |          |        |
|-----------------|------|---------|---------|----------|-------|----------|--------|
| <b>1-May-15</b> | 1854 | 2102,41 | 248,415 | 1854     | 0,134 | -248,415 | -0,134 |
| <b>1-Jun-15</b> | 1939 | 2047,75 | 108,752 | 1939     | 0,056 | -108,752 | -0,056 |
| <b>1-Jul-15</b> | 2027 | 2099,16 | 72,160  | 2027     | 0,036 | -72,160  | -0,036 |
| <b>1-Aug-15</b> | 1851 | 2145,54 | 294,538 | 1851     | 0,159 | -294,538 | -0,159 |
|                 |      |         |         | $\Sigma$ | 0,721 | $\Sigma$ | -0,721 |

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{|Y_t|} * 100 = 9,007\% \quad (2)$$

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} * 100 = -9,007\% \quad (3)$$

El pronóstico representa los datos reales de manera razonable, sin embargo, el ajuste en los últimos períodos se encuentra sesgado, siendo sobreestimando consistentemente por la técnica empleada.

### 5.3.2 Metodología Box-Jenkins (ARIMA)

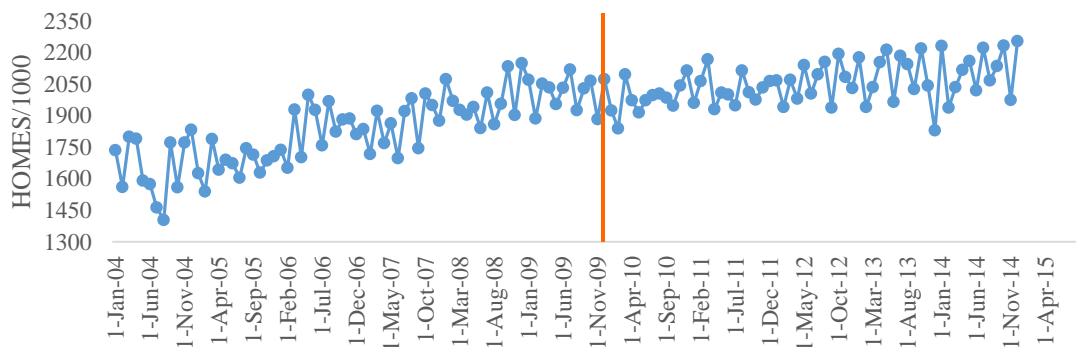
La metodología Box-Jenkins fue seleccionada para pronosticar debido a las características que presenta. En primer lugar, este método crea un modelo propio a partir de la información histórica de la serie, sin importar el comportamiento que esta posea, debido a que el modelo generado será capaz de plasmar dichos comportamientos. Según el horizonte de tiempo el método se considera de mediano plazo, lo que permitió generar en el estudio proyecciones hasta de 2 años.

Para las unidades de negocio pronosticadas por la metodología ARIMA se tuvo en cuenta un rango de observaciones actuales. Como se observa en el Anexo A, las observaciones suministradas por la empresa para cada unidad de negocio son de 140 datos en su mayoría. En los primeros años se muestra un comportamiento que

no se asemeja al de los períodos más recientes, a esto se le adiciona que el nivel de significancia con el que se generaron los pronósticos fue del 95%, lo que convierte en una tarea exigente la obtención de un modelo que se ajuste en su totalidad a la serie de tiempo completa. Por tal motivo se decidió descartar las observaciones correspondientes desde el año 2004 al 2008 en las unidades de negocio utilizadas para pronosticar.

Se procede a generar un modelo para la unidad de negocio B02165 (Figura 16), de la línea residencial utilizada para el desarrollo de los pronósticos siguiendo la Metodología Box-Jenkins.

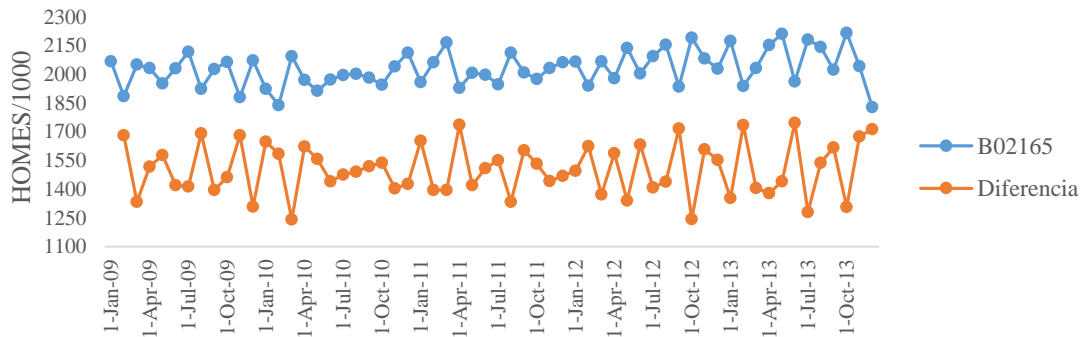
Figura 16. Unidad de Negocio B02165, M17, Línea Residencial.



### Paso I: Identificación del modelo

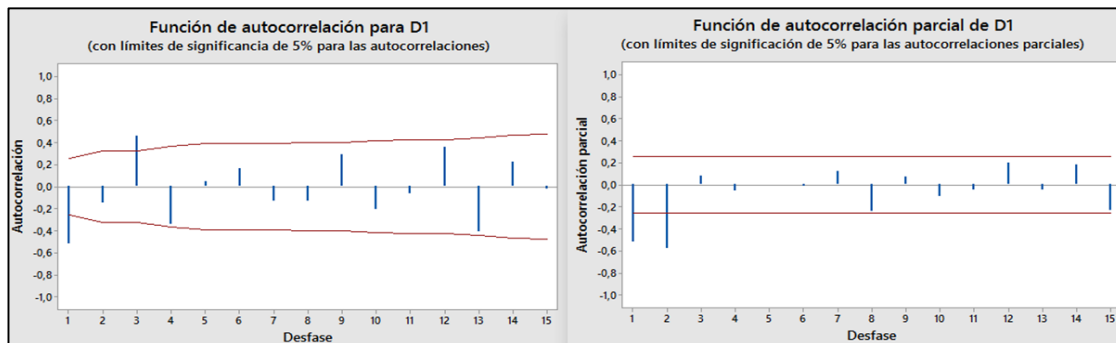
En primera instancia, se verificó si las series de tiempo presentaban un patrón estacionario para proponer el modelo, de no serlo se aplica el método de diferenciación el número de veces que sea necesario. Con la conversión de la serie en estacionaria se obtiene el valor del orden  $d$  correspondiente a la parte integrativa. En la Figura 17 se observa la serie de tiempo original y la serie de tiempo después de aplicar el método de diferenciación una vez.

Figura 17. Serie de tiempo con una diferencia, B02165.



Para seleccionar los valores  $p$  y  $q$  se realizó una observación de las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales calculadas a partir de la serie de tiempo diferenciada con las autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales teóricas de los diferentes modelos ARIMA. Una forma de determinar el orden de los valores  $p$  y  $q$ , es el siguiente: cuando las autocorrelaciones se acercan exponencialmente a 0, el modelo es AR y su orden se determina por el número de autocorrelaciones parciales que son significativamente diferentes de cero. Por otro lado, si las autocorrelaciones parciales se acercan exponencialmente a 0, el modelo es MA y su orden se determina por el número de autocorrelaciones estadísticamente significativas [11]. Para el caso de la unidad de negocio B02165 el orden del valor  $p$  seleccionado fue de 2, correspondiente a la parte autorregresiva AR y el orden del valor  $q$  fue 2, asociado al promedio móvil MA.

Figura 18. Funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial.



Fuente: Software Minitab®

### Pasos II y III: Estimación y verificación del modelo

Luego de identificar los valores  $p$ ,  $d$  y  $q$ , se estimaron los parámetros de los términos autorregresivos y de media móvil incluidos en el modelo. Este proceso se realizó mediante el software Minitab®. Los resultados para la unidad de negocio B02165 se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 12. Estimación y verificación de los parámetros del modelo.

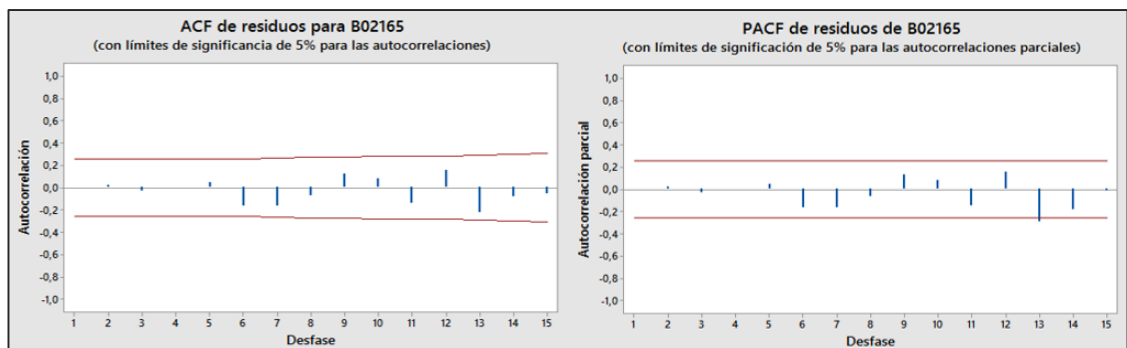
| Estimaciones finales de los parámetros                        |                      |          |       |        |
|---|----------------------|----------|-------|--------|
| TIPO  | Coeficiente          | SE Coef. | T     | P      |
| AR 1  | -1.0028              | 0.1626   | -6.17 | 0.0000 |
| AR 2  | -0.6714              | 0.1259   | -5.33 | 0.0000 |
| MA 1  | 0.2175               | 0.1972   | 1.10  | 0.0275 |
| MA 2  | 0.3983               | 0.1927   | 2.07  | 0.0430 |
| Diferenciación:   | 1 Diferencia regular |          |       |        |
| Número de observaciones:                                      | Serie original 60    |          |       |        |
| Residuos:   | SC= 353980           | MC= 6321 | GL=56 |        |
| Estadística Chi-cuadrada modificada de Box-Pierce (Ljung-Box) |                      |          |       |        |
| Desfase   | 12                   | 24       | 36    | 48     |
| Chi-cuadrada  | 9.0                  | 26.9     | 38.2  | 53.4   |
| GL  | 8                    | 20       | 32    | 44     |
| Valor p   | 0.339                | 0.139    | 0.208 | 0.157  |

Fuente: Adaptada de Software Minitab®.

A partir de los resultados que arroja el software Minitab®, se comprobó si el modelo seleccionado es adecuado teniendo en cuenta lo siguiente:

- Por medio de una prueba de hipótesis se corrobora la inclusión de los coeficientes de tipo AR y MA en el modelo teniendo en cuenta la distribución de probabilidad t de student de dos colas. La hipótesis nula  $H_0$  obedece a que los coeficientes son iguales a cero y la hipótesis alternativa  $H_a$  indica que los coeficientes son diferentes de cero y deben permanecer en el modelo. Para este caso se rechazó  $H_0$  confirmando que los términos son diferentes de cero, es decir, hacen parte del modelo.
- Las autocorrelaciones residuales como un grupo deben ser congruentes con aquellas producidas por los errores aleatorios (Figura 19). Este proceso se comprobó por medio del valor p asociado al estadístico Q de Ljung-Box. Si el valor p calculado es menor al 5% el modelo es inadecuado y se debe repetir el proceso, para nuestro caso los valores obtenidos de p fueron superiores al 5% en todos los desfases validando el modelo.

Figura 19. Función de autocorrelación y autocorrelación parcial residuales aleatorias.



Fuente: Software Minitab®.

A continuación, se muestran los modelos adoptados para cada una de las unidades de negocio de la línea residencial en estudio. En la mayoría de los casos no fue necesario implementar un valor constante para la construcción del modelo.

Tabla 13. Modelos ARIMA, área de mercado 17, línea residencial.

| Number | ID     | Business Unit      | Modelo (p,d,q) | Constante |
|--------|--------|--------------------|----------------|-----------|
| 1      | B00007 | San Antonio        | (2,1,1)        | ✓         |
| 2      | B00011 | USA of Houston     | (4,2,0)        | ✗         |
| 6      | B00394 | Paris Hauling      | (2,1,1)        | ✓         |
| 9      | B01000 | Lewisville Hauling | (2,1,2)        | ✗         |
| 10     | B01001 | Sherman Hauling    | (0,1,2)        | ✓         |
| 13     | B01006 | Tulsa              | (0,1,2)        | ✗         |
| 14     | B01013 | Angleton           | (2,1,0)        | ✗         |
| 29     | B01177 | South Texas        | (2,1,0)        | ✗         |
| 31     | B01791 | Pasadena           | (4,2,0)        | ✗         |
| 32     | B01792 | Conroe             | (2,1,0)        | ✗         |
| 38     | B02155 | Golden Triangle    | (2,2,1)        | ✗         |
| 40     | B02161 | Austin             | (2,1,1)        | ✗         |
| 42     | B02163 | Dallas             | (0,1,1)        | ✗         |
| 44     | B02165 | Fort Worth Hauling | (2,1,2)        | ✗         |
| 45     | B02175 | Oklahoma City      | (2,1,0)        | ✗         |
| 50     | B02609 | Centex             | (1,2,3)        | ✗         |
| 54     | B02848 | Victoria           | (0,1,1)        | ✗         |

#### *Paso IV: Elaboración del pronóstico con el modelo*

Los pronósticos se derivan directamente del modelo al que se ajustan los datos. Como se observa, esta metodología se basa en generar un modelo que se ajuste a la serie de tiempo original basado en el comportamiento histórico de la misma. Lo que se busca es generar un modelo que presente los mismos patrones que tiene la serie original y se dice que el modelo es apto para pronosticar cuando los patrones presentes en los correlogramas del modelo son similares a los de la serie de tiempo

original. Al aplicar el método, este logró describir el comportamiento variable de las series de tiempo de RSU en estudio apropiadamente. Los pronósticos para las observaciones en estudio se obtuvieron por medio del software Minitab®, se realizó el cálculo de los límites superior e inferior con un nivel de significancia del 95%, lo que permite abarcar la incertidumbre de las estimaciones (Ver Anexo D).

Tabla 14. Pronósticos y Límites Inferior y superior, B02165.

| Período | Pronóstico | Límites 95% |          |
|---------|------------|-------------|----------|
|         |            | Inferior    | Superior |
| 61      | 2230,26    | 2076,73     | 2383,80  |
| 62      | 2069,54    | 1912,32     | 2226,76  |
| 63      | 1961,30    | 1803,75     | 2118,84  |
| 64      | 2177,75    | 1995,36     | 2360,15  |
| 65      | 2033,37    | 1849,08     | 2217,65  |
| 66      | 2032,82    | 1847,02     | 2218,63  |
| 67      | 2130,31    | 1937,12     | 2323,50  |
| 68      | 2032,92    | 1839,47     | 2226,36  |
| 69      | 2065,13    | 1868,81     | 2261,45  |
| 70      | 2098,22    | 1899,29     | 2297,15  |
| 71      | 2043,41    | 1844,43     | 2242,39  |
| 72      | 2076,16    | 1874,44     | 2277,87  |
| 73      | 2080,12    | 1877,11     | 2283,13  |
| 74      | 2054,16    | 1850,68     | 2257,63  |
| 75      | 2077,53    | 1871,88     | 2283,17  |
| 76      | 2071,52    | 1864,92     | 2278,12  |
| 77      | 2061,85    | 1854,37     | 2269,33  |
| 78      | 2075,58    | 1866,41     | 2284,75  |
| 79      | 2068,31    | 1858,22     | 2278,39  |
| 80      | 2066,39    | 1855,20     | 2277,57  |

Fuente: Adaptado de Minitab®.

## 5.4 EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE PRONÓSTICO

Los índices de precisión utilizados para la validación del método de pronóstico fueron el error porcentual absoluto medio (MAPE) y el error porcentual medio (MPE). Ofreciendo una medida relativa del desempeño de cada modelo cuantitativo de pronóstico utilizado. Los errores calculados para cada unidad de negocio después de aplicar el método de pronóstico ARIMA, se muestran en la siguiente tabla y su cálculo respectivo se encuentra en el Anexo E.

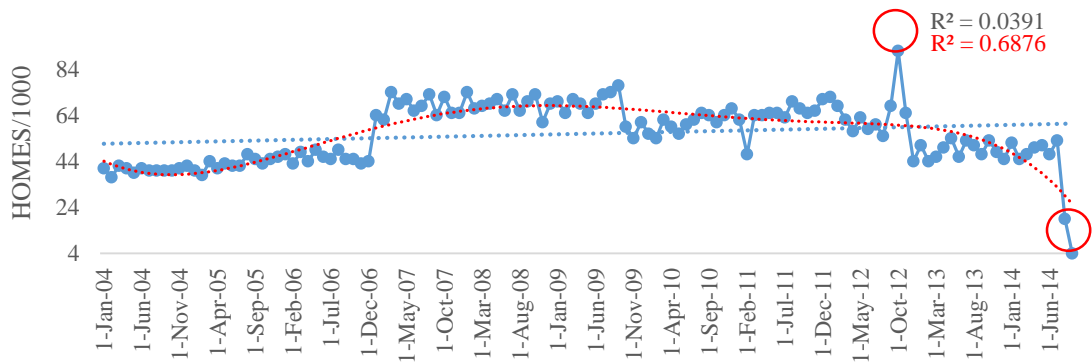
Tabla 15. Índices de precisión, área de mercado 17, línea residencial.

| Number | ID     | Business Unit      | MAPE    | MPE      |
|--------|--------|--------------------|---------|----------|
| 1      | B00007 | San Antonio        | 6,940%  | 6,210%   |
| 2      | B00011 | USA of Houston     | 8,034%  | 6,614%   |
| 6      | B00394 | Paris Hauling      | 7,651%  | -5,388%  |
| 9      | B01000 | Lewisville Hauling | 8,775%  | -3,409%  |
| 10     | B01001 | Sherman Hauling    | 26,520% | -24,418% |
| 13     | B01006 | Tulsa              | 4,481%  | -0,708%  |
| 14     | B01013 | Angleton           | 4,797%  | -3,470%  |
| 29     | B01177 | South Texas        | 5,816%  | 3,239%   |
| 31     | B01791 | Pasadena           | 10,927% | -10,927% |
| 32     | B01792 | Conroe             | 3,585%  | 0,322%   |
| 38     | B02155 | Golden Triangle    | 5,598%  | -4,568%  |
| 40     | B02161 | Austin             | 5,992%  | -3,577%  |
| 42     | B02163 | Dallas             | 4,452%  | 1,832%   |
| 44     | B02165 | Fort Worth Hauling | 4,780%  | 1,421%   |
| 45     | B02175 | Oklahoma City      | 4,099%  | -3,261%  |
| 50     | B02609 | Centex             | 3,410%  | -2,450%  |
| 54     | B02848 | Victoria           | 5,974%  | 2,864%   |

Se realizó una verificación de los errores de pronóstico, para detectar si los errores más recientes tienden a ser sistemáticamente más grandes que los errores anteriores, y en ese caso, reevaluar el modelo y plantear uno nuevo. Se observó

que los índices de precisión calculados a excepción de las unidades de negocio B01001 y B01791 no exceden un error del 10%, lo que valida el método de pronóstico empleado y corrobora que no está sesgado ni sobre o subestimado consistentemente. Las unidades de negocio en las cuales los índices de precisión superaron el 10% poseen un comportamiento atípico que no se puede explicar (Figura 20), debido a ello no se acoplaron a un modelo ARIMA que describiera correctamente los datos.

Figura 20. Unidad de negocio B01001, línea residencial.



## 6. CONCLUSIONES

Para la realización de este estudio fue indispensable la fase de organización y limpieza de datos. A partir de este proceso se obtuvieron datos representativos y fidedignos, que se agruparon en zonas operativas, a su vez conformadas por unidades de negocio respectivas, dejando un panorama claro para el desarrollo del estudio.

De los resultados del análisis de patrones en las unidades de negocio de la zona de mercado Texas-Oklahoma por medio de autocorrelaciones, se observó la importancia de la identificación de patrones y componentes, lo que permitió entender el comportamiento de las series de tiempo y conocer los factores externos que influyen en la aparición de los patrones.

En general, las series temporales no se comportaron como muestras aleatorias. Las observaciones estudiadas en la mayoría de las series estaban correlacionadas unas con otras. Esta dependencia genera patrones de variabilidad que se utilizaron para pronosticar valores futuros y ayudar en el control de operaciones de la empresa. Para lo anterior se determinó que los elementos importantes en el estudio para la selección y la elaboración del pronóstico fueron la identificación y comprensión de patrones históricos y los eventos críticos, con base a estos elementos se seleccionaron técnicas capaces de modelar el comportamiento variable de las series de tiempo.

Las técnicas usadas para desarrollar el alcance del estudio fueron el pronóstico estacional por modelos de descomposición y la metodología Box-Jenkins (ARIMA). Con el proceso de descomposición de las series de tiempo se estudió cada componente por separado. Al obtener el componente estacional se calcularon los

porcentajes de variabilidad mensual de todos los años, mostrando observaciones críticas que se esperan en los periodos posteriores.

Al implementarse técnicas de pronósticos sofisticadas como ARIMA, se generó un pronóstico central y a su vez un rango que consiguió envolver los eventos críticos, abarcando la dispersión de las observaciones futuras de las series de tiempo de la zona operativa.

Con la aplicación de técnicas de pronósticos se obtienen resultados confiables capaces de predecir en gran parte el comportamiento de las observaciones futuras y por medio de evaluación de las técnicas utilizando los índices de precisión MAPE y MPE se ratificó su utilidad. Cabe resaltar que las técnicas de pronóstico son importantes para el proceso de toma de decisiones, pero estas deben estar ligadas al buen juicio del pronosticador y la gerencia con el fin de no segarse por las predicciones obtenidas. Es decir, los métodos cuantitativos y cualitativos deben complementarse entre sí para obtener pronósticos consistentes. La elaboración adecuada de los pronósticos ayudará a eliminar parte de la incertidumbre asociada al futuro contribuyendo a que la dirección de la empresa defina estrategias alternativas que satisfagan la demanda.

## 7. REFERENCIAS

- [1] NAVARRO-ESBRÍ, J., DIAMADOPOULOS, E., & GINESTAR, D. (2002). Time series analysis and forecasting techniques for municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 35, 201-214.
- [2] EPA. (2013). *Assessing Trends in Material Generation Recycling and Disposal in the United States*. United States Environmental Protection Agency.
- [3] EPA. (2009). *Municipal Solid Waste in the United States: Facts and Figures*. United States Environmental Protection Agency.
- [4] EPA. (2010). *Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States*. United States Environmental Protection Agency.
- [5] GHIANI, G., LAGANA, D., MUSMANNO, R., & Vigo, D. (2014). Operations research in solid waste management: A survey of strategic and tactical issues. *Computers & Operations Research*, 22-32.
- [6] HANKE, John E. & WICHERN, Dean W. (2010). *Pronósticos en los negocios* (9a ed.). México, D.F: Pearson Education, Inc.
- [7] BOWERMAN, Bruce L., O'CONNELL, Richard T. & KOEHLER, Anne B. (2007). *Pronósticos, series de tiempo y regresión. Un enfoque aplicado* (4a ed.). México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A.
- [8] AGUIRRE, Armando (1994). *Introducción al tratamiento de series temporales* (1a ed.). España: Díaz de Santos S.A., 31-288.

**[9]** ANDERSON, David R., SWEENEY Dennis J., WILLIAMS, Thomas A., CAMM Jeffrey D. & MARTIN, Kipp (2011). Métodos cuantitativos para los negocios (11a ed.). México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A., 181-233.

**[10]** EVERETT, Adam & EBERT, Ronald J. (1991). Administración de la producción y las operaciones: Conceptos, modelos y funcionamiento (4a ed.). México: Pearson Educación, 84-96.

**[11]** MAKRIDAKIS, Spyros & WHEELRIGTH, Steven C. (2007). Métodos de pronósticos (1a ed.) México, D.F: Limusa, S.A.

**[12]** Soporte Minitab 17. ¿Qué es una serie de tiempo? (n.d.). Tomado de: <<http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/time-series/basics/what-is-a-time-series/>>. [Consulta: 28-09-2016].

**[13]** Soporte Minitab 17. ¿Qué es un promedio móvil? (n.d.). Tomado de: <<http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/modeling-statistics/time-series/moving-average/what-is-a-moving-average/>>. [Consulta: 29-09-2016].

**[14]** Box, G. E. P., Jenkins, G. M. & G. C. Reinsel (1994). Time Series Analysis: Forecasting and Control (3a. ed.). Upper Saddle River, Nueva Jersey: Prentice Hall, p. 17.

**[15]** PINEDA, Octavio Luis (2002-9. Técnicas de pronósticos para la toma de decisiones empresariales (1a ed.). México, D.F: Alfaomega Grupo Edito, S.A de C.V.

**[16]** GUJARATI, Damodar N. (2003). Econometría (4a ed.). México, D.F: McGraw-Hill, 814-838.

**[17]** Investigación longitudinal o evolutiva (n.d.). Tomado de <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211621/PROY-GRADO\\_EN\\_LINEA/leccin\\_38\\_investigacin\\_longitudinal\\_o\\_evolutiva.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211621/PROY-GRADO_EN_LINEA/leccin_38_investigacin_longitudinal_o_evolutiva.html)>. [Consulta: 30-09-2016].

**[18]** MAKRIDAKIS, Spyros & WHEELRIGTH, Steven C. (1997). Manual de técnicas de pronósticos (1a ed.) México, D.F: Limusa, S.A.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, Armando (1994). Introducción al tratamiento de series temporales (1a ed.). España: Díaz de Santos S.A, 31-288.

ANDERSON, David R., SWEENEY Dennis J., WILLIAMS, Thomas A., CAMM Jeffrey D. & MARTIN, Kipp (2011). Métodos cuantitativos para los negocios (11a ed.). México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A., 181-233.

BOWERMAN, Bruce L., O'CONNELL, Richard T. & KOEHLER, Anne B. (2007). Pronósticos, series de tiempo y regresión. Un enfoque aplicado (4a ed.). México, D.F: Cengage Learning Editores, S.A.

GUJARATI, Damodar N. (2003). Econometría (4a ed.). México, D.F: McGraw-Hill, 814-838.

HANKE, John E. & WICHERN, Dean W. (2006). Pronósticos en los negocios (8a ed.). México, D.F: Pearson Education, Inc.

HANKE, John E. & WICHERN, Dean W. (2010). Pronósticos en los negocios (9a ed.). México, D.F: Pearson Education, Inc.

MONTGOMERY, Douglas C., JENNINGS, Cheryl L. & KULAHCI, Murat. (2015). Introduction to time series analysis and forecasting (2nd ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

## ANEXOS

### ANEXO A. Unidades de negocio Zona Operativa 17

Tabla 1. Unidades de negocio, Zona Operativa 17: Texas Oklahoma, Línea Residencial.

| Number | ID     | Business Unit      | N (Data) |
|--------|--------|--------------------|----------|
| 1      | B00007 | San Antonio        | 140      |
| 2      | B00011 | USA of Houston     | 140      |
| 6      | B00394 | Paris Hauling      | 119      |
| 9      | B01000 | Lewisville Hauling | 140      |
| 10     | B01001 | Sherman Hauling    | 129      |
| 13     | B01006 | Tulsa              | 140      |
| 14     | B01013 | Angleton           | 131      |
| 29     | B01177 | South Texas        | 140      |
| 31     | B01791 | Pasadena           | 140      |
| 32     | B01792 | Conroe             | 140      |
| 38     | B02155 | Golden Triangle    | 140      |
| 40     | B02161 | Austin             | 140      |
| 42     | B02163 | Dallas             | 140      |
| 44     | B02165 | Fort Worth Hauling | 140      |
| 45     | B02175 | Oklahoma City      | 140      |
| 50     | B02609 | Centex             | 140      |
| 54     | B02848 | Victoria           | 140      |

## ANEXO B. Organización y limpieza de datos Línea Residencial

Figura 1. Resumen organización de datos, Línea Residencial.

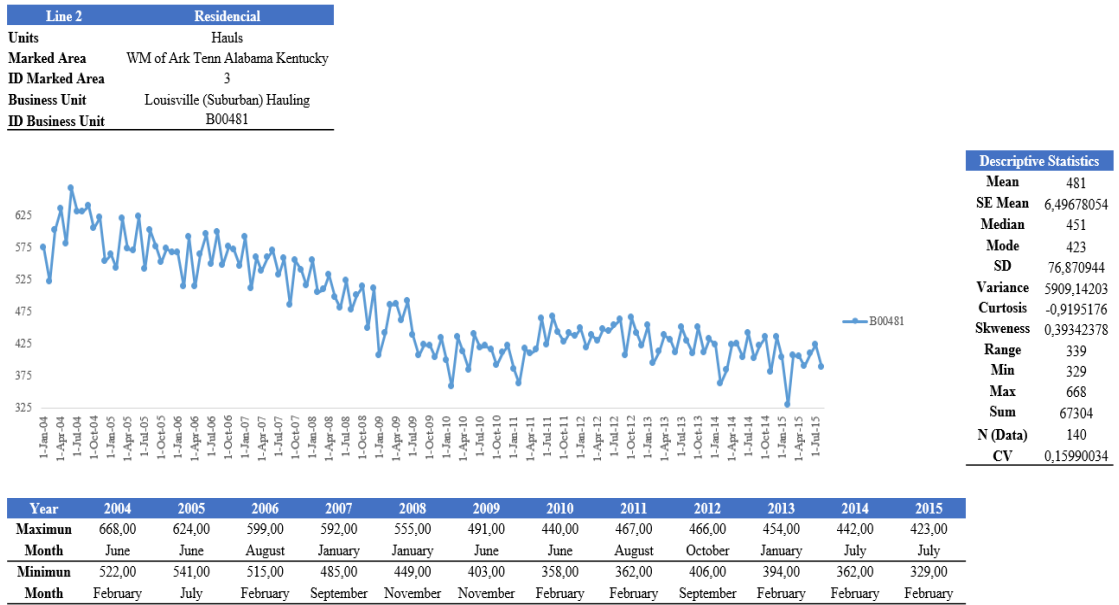
[BACK](#)

| Line 2          | Residencial                     |
|-----------------|---------------------------------|
| Units           | Hauls                           |
| Marked Area     | WM of Ark Tenn Alabama Kentucky |
| ID Marked Area  | 3                               |
| Business Unit   | Springdale Hauling              |
| ID Business Uni | B00086                          |

| ID - Market Area | Business Unit Number | D -Buss. Uni | Date     | Homes  | Homes/1000 |
|------------------|----------------------|--------------|----------|--------|------------|
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Jan-04 | 237028 | 237        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Feb-04 | 267911 | 268        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Mar-04 | 223289 | 223        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Apr-04 | 255445 | 255        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-May-04 | 228276 | 228        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Jun-04 | 235269 | 235        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Jul-04 | 238686 | 239        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Aug-04 | 145459 | 145        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Sep-04 | 137703 | 138        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Oct-04 | 120060 | 120        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Nov-04 | 202297 | 202        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Dec-04 | 119358 | 119        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Jan-05 | 230138 | 230        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Feb-05 | 113644 | 114        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Mar-05 | 254605 | 255        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Apr-05 | 248586 | 249        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-May-05 | 259341 | 259        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Jun-05 | 126521 | 127        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Jul-05 | 258880 | 259        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Aug-05 | 119791 | 120        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Sep-05 | 201918 | 202        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Oct-05 | 137862 | 138        |
| 3                | 2                    | B00086       | 1-Nov-05 | 231833 | 232        |

|      |       |         |        |               |        |        |        |
|------|-------|---------|--------|---------------|--------|--------|--------|
| Data | Index | Summary | B00058 | <b>B00086</b> | B00087 | B00098 | B00099 |
|------|-------|---------|--------|---------------|--------|--------|--------|

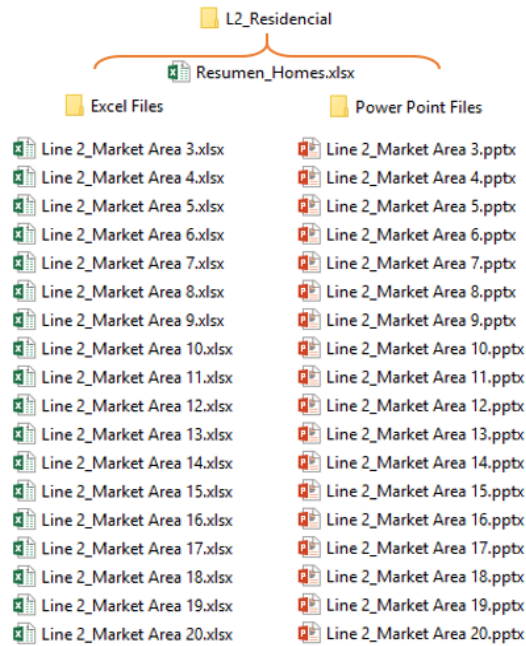
Figura 2. Presentación de la información, Línea Residencial.



Gestión de la Construcción



Figura 3. Archivos Organizados, línea Residencial.



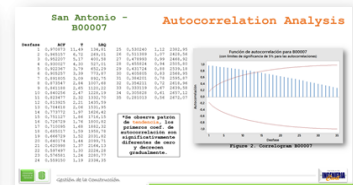
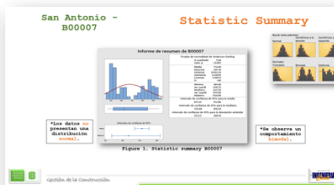
# ANEXO C. Formato Identificación de patrones en series de tiempo

Figura 1. Identificación de patrones presentes en las series de tiempo en estudio.

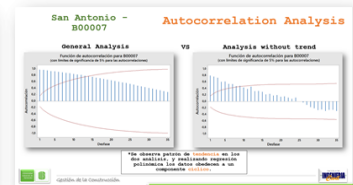
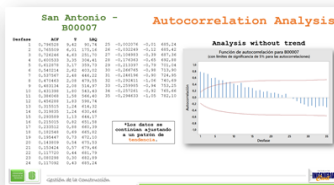
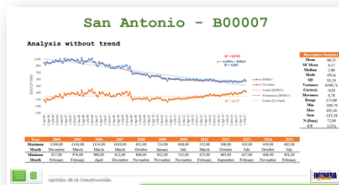
## San Antonio - B00007

## Time Serial Analysis

### General Analysis



### Analysis without trend



Gestión de la Construcción



## ANEXO D. Pronóstico y límites Zona operativa 17

Tabla 1. Pronóstico y límites, unidad de negocio B00007.

| <b>B00007</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| 61            | 437,912           | 383,665            | 492,158            |
| 62            | 438,609           | 380,165            | 497,053            |
| 63            | 432,528           | 359,429            | 505,627            |
| 64            | 430,736           | 351,091            | 510,380            |
| 65            | 426,259           | 336,668            | 515,851            |
| 66            | 423,492           | 326,651            | 520,333            |
| 67            | 419,665           | 314,460            | 524,871            |
| 68            | 416,524           | 303,962            | 529,086            |
| 69            | 412,969           | 292,701            | 533,236            |
| 70            | 409,692           | 282,126            | 537,258            |
| 71            | 406,257           | 271,298            | 541,217            |
| 72            | 402,939           | 260,761            | 545,117            |
| 73            | 399,565           | 250,152            | 548,978            |
| 74            | 396,244           | 239,675            | 552,813            |
| 75            | 392,907           | 229,184            | 556,630            |
| 76            | 389,597           | 218,755            | 560,439            |
| 77            | 386,287           | 208,330            | 564,245            |
| 78            | 382,995           | 197,934            | 568,055            |
| 79            | 379,708           | 187,543            | 571,874            |
| 80            | 376,435           | 177,164            | 575,706            |

Tabla 2. Pronóstico y límites, unidad de negocio B00011.

| <b>B00011</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| 61            | 840,24            | 737,86             | 942,62             |
| 62            | 808,46            | 697,09             | 919,83             |
| 63            | 826,82            | 696,30             | 957,34             |
| 64            | 795,80            | 617,58             | 974,01             |
| 65            | 801,77            | 591,00             | 1012,53            |
| 66            | 797,82            | 543,32             | 1052,32            |
| 67            | 776,17            | 483,59             | 1068,75            |

|           |        |         |         |
|-----------|--------|---------|---------|
| <b>68</b> | 783,38 | 441,03  | 1125,73 |
| <b>69</b> | 767,40 | 372,33  | 1162,46 |
| <b>70</b> | 763,38 | 321,82  | 1204,95 |
| <b>71</b> | 757,06 | 258,69  | 1255,43 |
| <b>72</b> | 745,17 | 190,46  | 1299,88 |
| <b>73</b> | 744,33 | 131,43  | 1357,24 |
| <b>74</b> | 732,08 | 58,43   | 1405,73 |
| <b>75</b> | 726,39 | -8,77   | 1461,56 |
| <b>76</b> | 720,33 | -80,65  | 1521,32 |
| <b>77</b> | 710,72 | -155,75 | 1577,19 |
| <b>78</b> | 705,84 | -228,37 | 1640,05 |
| <b>79</b> | 696,67 | -307,87 | 1701,21 |
| <b>80</b> | 690,32 | -385,26 | 1765,90 |

Tabla 3. Pronóstico y límites, unidad de negocio B00394.

| <b>B00394</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 74,2617           | 66,5582            | 81,9652            |
| <b>62</b>     | 70,1296           | 62,2622            | 77,9971            |
| <b>63</b>     | 68,5725           | 60,6347            | 76,5103            |
| <b>64</b>     | 71,1972           | 62,0597            | 80,3346            |
| <b>65</b>     | 69,0361           | 59,8953            | 78,1768            |
| <b>66</b>     | 68,1099           | 58,8452            | 77,3745            |
| <b>67</b>     | 69,0708           | 59,3096            | 78,832             |
| <b>68</b>     | 67,8287           | 58,0051            | 77,6523            |
| <b>69</b>     | 67,1775           | 57,2068            | 77,1482            |
| <b>70</b>     | 67,3776           | 57,1198            | 77,6354            |
| <b>71</b>     | 66,5637           | 56,1961            | 76,9314            |

Tabla 4. Pronóstico y límites, unidad de negocio B01000.

| <b>B01000</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 1196,31           | 1031,61            | 1361,02            |
| <b>62</b>     | 1216,13           | 997,08             | 1435,18            |
| <b>63</b>     | 1214,18           | 959,66             | 1468,71            |
| <b>64</b>     | 1200,79           | 894,64             | 1506,95            |
| <b>65</b>     | 1223,81           | 895,80             | 1551,81            |

|           |         |        |         |
|-----------|---------|--------|---------|
| <b>66</b> | 1198,19 | 829,78 | 1566,59 |
| <b>67</b> | 1219,95 | 828,79 | 1611,12 |
| <b>68</b> | 1206,51 | 788,37 | 1624,65 |
| <b>69</b> | 1209,87 | 764,98 | 1654,75 |
| <b>70</b> | 1215,70 | 751,73 | 1679,67 |
| <b>71</b> | 1203,59 | 712,63 | 1694,55 |
| <b>72</b> | 1218,08 | 709,86 | 1726,30 |
| <b>73</b> | 1205,01 | 673,97 | 1736,05 |
| <b>74</b> | 1213,83 | 664,11 | 1763,55 |
| <b>75</b> | 1210,62 | 642,80 | 1778,45 |
| <b>76</b> | 1208,40 | 620,60 | 1796,19 |
| <b>77</b> | 1214,62 | 611,23 | 1818,01 |
| <b>78</b> | 1206,53 | 584,00 | 1829,07 |
| <b>79</b> | 1214,27 | 576,36 | 1852,19 |
| <b>80</b> | 1208,64 | 553,90 | 1863,38 |

*Tabla 5. Pronóstico y límites, unidad de negocio B01001.*

| <b>B01001</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 49,9006           | 37,0413            | 62,7598            |
| <b>62</b>     | 52,1839           | 37,0587            | 67,3092            |
| <b>63</b>     | 51,8843           | 36,7168            | 67,0517            |
| <b>64</b>     | 51,5846           | 36,375             | 66,7941            |
| <b>65</b>     | 51,2849           | 36,0333            | 66,5364            |
| <b>66</b>     | 50,9852           | 35,6918            | 66,2786            |
| <b>67</b>     | 50,6855           | 35,3503            | 66,0207            |
| <b>68</b>     | 50,3858           | 35,009             | 65,7627            |
| <b>69</b>     | 50,0862           | 34,6678            | 65,5045            |

*Tabla 6. Pronóstico y límites, unidad de negocio B01006.*

| <b>B01006</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 33,0566           | 29,1035            | 37,0096            |
| <b>62</b>     | 32,9849           | 28,9856            | 36,9842            |
| <b>63</b>     | 32,9849           | 28,8732            | 37,0966            |
| <b>64</b>     | 32,9849           | 28,7637            | 37,2060            |
| <b>65</b>     | 32,9849           | 28,6571            | 37,3127            |

|           |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|
| <b>66</b> | 32,9849 | 28,5530 | 37,4168 |
| <b>67</b> | 32,9849 | 28,4512 | 37,5185 |
| <b>68</b> | 32,9849 | 28,3518 | 37,6180 |
| <b>69</b> | 32,9849 | 28,2544 | 37,7154 |
| <b>70</b> | 32,9849 | 28,1589 | 37,8108 |
| <b>71</b> | 32,9849 | 28,0654 | 37,9044 |
| <b>72</b> | 32,9849 | 27,9735 | 37,9962 |
| <b>73</b> | 32,9849 | 27,8834 | 38,0864 |
| <b>74</b> | 32,9849 | 27,7948 | 38,1750 |
| <b>75</b> | 32,9849 | 27,7076 | 38,2622 |
| <b>76</b> | 32,9849 | 27,6219 | 38,3479 |
| <b>77</b> | 32,9849 | 27,5376 | 38,4322 |
| <b>78</b> | 32,9849 | 27,4545 | 38,5153 |
| <b>79</b> | 32,9849 | 27,3726 | 38,5971 |
| <b>80</b> | 32,9849 | 27,2920 | 38,6778 |

*Tabla 7. Pronóstico y límites, unidad de negocio B01013.*

| <b>B01013</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 69,0069           | 55,3789            | 82,635             |
| <b>62</b>     | 67,3892           | 52,2809            | 82,4975            |
| <b>63</b>     | 68,5862           | 52,5497            | 84,6227            |
| <b>64</b>     | 68,5378           | 50,3864            | 86,6893            |
| <b>65</b>     | 68,137            | 48,5799            | 87,6941            |
| <b>66</b>     | 68,3632           | 47,6559            | 89,0706            |
| <b>67</b>     | 68,3879           | 46,3682            | 90,4077            |
| <b>68</b>     | 68,2946           | 45,0959            | 91,4932            |
| <b>69</b>     | 68,3345           | 44,0573            | 92,6116            |
| <b>70</b>     | 68,3469           | 42,9965            | 93,6973            |
| <b>71</b>     | 68,3262           | 41,9523            | 94,7001            |

*Tabla 8. Pronóstico y límites, unidad de negocio B01177.*

| <b>B01177</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 102,296           | 87,627             | 116,965            |
| <b>62</b>     | 94,511            | 78,572             | 110,45             |
| <b>63</b>     | 94,183            | 77,69              | 110,677            |

|           |        |        |         |
|-----------|--------|--------|---------|
| <b>64</b> | 98,003 | 79,058 | 116,949 |
| <b>65</b> | 95,96  | 75,645 | 116,275 |
| <b>66</b> | 95,353 | 74,14  | 116,565 |
| <b>67</b> | 96,655 | 74,075 | 119,235 |
| <b>68</b> | 96,19  | 72,437 | 119,942 |
| <b>69</b> | 95,85  | 71,137 | 120,562 |
| <b>70</b> | 96,262 | 70,491 | 122,033 |
| <b>71</b> | 96,184 | 69,403 | 122,964 |
| <b>72</b> | 96,036 | 68,338 | 123,735 |
| <b>73</b> | 96,158 | 67,537 | 124,778 |
| <b>74</b> | 96,157 | 66,638 | 125,676 |
| <b>75</b> | 96,101 | 65,728 | 126,474 |
| <b>76</b> | 96,133 | 64,922 | 127,345 |
| <b>77</b> | 96,141 | 64,109 | 128,172 |
| <b>78</b> | 96,121 | 63,296 | 128,947 |
| <b>79</b> | 96,129 | 62,527 | 129,731 |
| <b>80</b> | 96,134 | 61,77  | 130,497 |

Tabla 9. Pronóstico y límites, unidad de negocio B01791.

| <b>B01791</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 1805,04           | 1674,67            | 1935,42            |
| <b>62</b>     | 1694,07           | 1560,71            | 1827,43            |
| <b>63</b>     | 1809,58           | 1646,89            | 1972,27            |
| <b>64</b>     | 1730,27           | 1513,23            | 1947,31            |
| <b>65</b>     | 1767,55           | 1522,2             | 2012,91            |
| <b>66</b>     | 1794,11           | 1491,71            | 2096,52            |
| <b>67</b>     | 1733,21           | 1393,26            | 2073,16            |
| <b>68</b>     | 1811,69           | 1410,05            | 2213,33            |
| <b>69</b>     | 1758,24           | 1300,04            | 2216,44            |
| <b>70</b>     | 1787,13           | 1278,71            | 2295,55            |
| <b>71</b>     | 1797,61           | 1217,74            | 2377,49            |
| <b>72</b>     | 1769,82           | 1131,97            | 2407,67            |
| <b>73</b>     | 1816,1            | 1109,1             | 2523,1             |
| <b>74</b>     | 1781,17           | 1005,39            | 2556,96            |
| <b>75</b>     | 1806,66           | 962,03             | 2651,29            |
| <b>76</b>     | 1809,34           | 887,11             | 2731,56            |

|           |         |        |         |
|-----------|---------|--------|---------|
| <b>77</b> | 1796,72 | 803,2  | 2790,24 |
| <b>78</b> | 1824,96 | 751,41 | 2898,52 |
| <b>79</b> | 1804,67 | 651,79 | 2957,55 |
| <b>80</b> | 1824,1  | 591,08 | 3057,12 |

Tabla 10. Pronóstico y límites, unidad de negocio B01792.

| <b>B01792</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 964,65            | 895,44             | 1033,86            |
| <b>62</b>     | 946,83            | 877,50             | 1016,17            |
| <b>63</b>     | 988,80            | 916,08             | 1061,51            |
| <b>64</b>     | 960,56            | 874,53             | 1046,60            |
| <b>65</b>     | 960,80            | 873,89             | 1047,72            |
| <b>66</b>     | 978,24            | 886,66             | 1069,82            |
| <b>67</b>     | 961,73            | 863,90             | 1059,56            |
| <b>68</b>     | 966,32            | 866,68             | 1065,95            |
| <b>69</b>     | 972,34            | 868,30             | 1076,38            |
| <b>70</b>     | 963,82            | 855,74             | 1071,90            |
| <b>71</b>     | 968,05            | 857,55             | 1078,55            |
| <b>72</b>     | 969,41            | 855,09             | 1083,73            |
| <b>73</b>     | 965,48            | 847,94             | 1083,02            |
| <b>74</b>     | 968,32            | 848,10             | 1088,53            |
| <b>75</b>     | 968,12            | 844,58             | 1091,65            |
| <b>76</b>     | 966,53            | 840,14             | 1092,93            |
| <b>77</b>     | 968,14            | 839,04             | 1097,25            |
| <b>78</b>     | 967,62            | 835,56             | 1099,68            |
| <b>79</b>     | 967,10            | 832,38             | 1101,83            |
| <b>80</b>     | 967,92            | 830,55             | 1105,28            |

Tabla 11. Pronóstico y límites, unidad de negocio B02155.

| <b>B02155</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 80,0956           | 70,8011            | 89,3902            |
| <b>62</b>     | 75,4349           | 66,0696            | 84,8002            |
| <b>63</b>     | 78,0360           | 68,1322            | 87,9398            |
| <b>64</b>     | 77,6109           | 65,4143            | 89,8075            |
| <b>65</b>     | 75,2800           | 62,7969            | 87,7631            |

|    |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|
| 66 | 76,6978 | 63,3210 | 90,0746 |
| 67 | 75,8594 | 61,1017 | 90,6170 |
| 68 | 74,6846 | 59,3867 | 89,9825 |
| 69 | 75,2930 | 58,9737 | 91,6123 |
| 70 | 74,4568 | 57,0343 | 91,8793 |
| 71 | 73,8071 | 55,6365 | 91,9777 |
| 72 | 73,9242 | 54,6953 | 93,1531 |
| 73 | 73,2044 | 52,9464 | 93,4624 |
| 74 | 72,7660 | 51,6136 | 93,9185 |
| 75 | 72,6101 | 50,3833 | 94,8370 |
| 76 | 72,0074 | 48,7491 | 95,2658 |
| 77 | 71,6376 | 47,3854 | 95,8899 |
| 78 | 71,3415 | 45,9965 | 96,6865 |
| 79 | 70,8250 | 44,4172 | 97,2327 |
| 80 | 70,4661 | 42,9941 | 97,9380 |

Tabla 12. Pronóstico y límites, unidad de negocio B02161.

| <b>B02161</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| 61            | 42,9146           | 37,6437            | 48,1856            |
| 62            | 45,4427           | 39,9253            | 50,9601            |
| 63            | 49,2058           | 43,6388            | 54,7728            |
| 64            | 45,1791           | 39,0759            | 51,2823            |
| 65            | 46,2151           | 40,1118            | 52,3183            |
| 66            | 47,4961           | 41,3208            | 53,6713            |
| 67            | 46,0366           | 39,6763            | 52,3969            |
| 68            | 46,4540           | 40,0626            | 52,8455            |
| 69            | 46,8877           | 40,4205            | 53,3549            |
| 70            | 46,3599           | 39,7862            | 52,9335            |
| 71            | 46,5258           | 39,8964            | 53,1553            |
| 72            | 46,6717           | 39,9680            | 53,3755            |
| 73            | 46,4812           | 39,6947            | 53,2678            |
| 74            | 46,5465           | 39,6948            | 53,3982            |
| 75            | 46,5952           | 39,6717            | 53,5188            |
| 76            | 46,5266           | 39,5291            | 53,5241            |
| 77            | 46,5521           | 39,4871            | 53,6170            |
| 78            | 46,5682           | 39,4338            | 53,7026            |

|           |         |         |         |
|-----------|---------|---------|---------|
| <b>79</b> | 46,5435 | 39,3394 | 53,7477 |
| <b>80</b> | 46,5534 | 39,2822 | 53,8246 |

Tabla 13. Pronóstico y límites, unidad de negocio B0216.

| <b>B02163</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 403,797           | 323,004            | 484,589            |
| <b>62</b>     | 403,797           | 307,012            | 500,582            |
| <b>63</b>     | 403,797           | 293,31             | 514,283            |
| <b>64</b>     | 403,797           | 281,13             | 526,463            |
| <b>65</b>     | 403,797           | 270,055            | 537,539            |
| <b>66</b>     | 403,797           | 259,828            | 547,765            |
| <b>67</b>     | 403,797           | 250,282            | 557,311            |
| <b>68</b>     | 403,797           | 241,296            | 566,298            |
| <b>69</b>     | 403,797           | 232,781            | 574,812            |
| <b>70</b>     | 403,797           | 224,67             | 582,923            |
| <b>71</b>     | 403,797           | 216,911            | 590,682            |
| <b>72</b>     | 403,797           | 209,462            | 598,131            |
| <b>73</b>     | 403,797           | 202,288            | 605,306            |
| <b>74</b>     | 403,797           | 195,36             | 612,233            |
| <b>75</b>     | 403,797           | 188,656            | 618,938            |
| <b>76</b>     | 403,797           | 182,154            | 625,439            |
| <b>77</b>     | 403,797           | 175,837            | 631,756            |
| <b>78</b>     | 403,797           | 169,691            | 637,902            |
| <b>79</b>     | 403,797           | 163,703            | 643,891            |
| <b>80</b>     | 403,797           | 157,86             | 649,734            |

Tabla 14. Pronóstico y límites, unidad de negocio B02165.

| <b>B02165</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| <b>61</b>     | 2230,26           | 2076,73            | 2383,8             |
| <b>62</b>     | 2069,54           | 1912,32            | 2226,76            |
| <b>63</b>     | 1961,3            | 1803,75            | 2118,84            |
| <b>64</b>     | 2177,75           | 1995,36            | 2360,15            |
| <b>65</b>     | 2033,37           | 1849,08            | 2217,65            |
| <b>66</b>     | 2032,82           | 1847,02            | 2218,63            |
| <b>67</b>     | 2130,31           | 1937,12            | 2323,5             |

|    |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|
| 68 | 2032,92 | 1839,47 | 2226,36 |
| 69 | 2065,13 | 1868,81 | 2261,45 |
| 70 | 2098,22 | 1899,29 | 2297,15 |
| 71 | 2043,41 | 1844,43 | 2242,39 |
| 72 | 2076,16 | 1874,44 | 2277,87 |
| 73 | 2080,12 | 1877,11 | 2283,13 |
| 74 | 2054,16 | 1850,68 | 2257,63 |
| 75 | 2077,53 | 1871,88 | 2283,17 |
| 76 | 2071,52 | 1864,92 | 2278,12 |
| 77 | 2061,85 | 1854,37 | 2269,33 |
| 78 | 2075,58 | 1866,41 | 2284,75 |
| 79 | 2068,31 | 1858,22 | 2278,39 |
| 80 | 2066,39 | 1855,2  | 2277,57 |

Tabla 15. Pronóstico y límites, unidad de negocio B02175.

| <b>B02175</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| 61            | 1457,39           | 1296,44            | 1618,34            |
| 62            | 1440,57           | 1272,91            | 1608,23            |
| 63            | 1463,86           | 1290,79            | 1636,94            |
| 64            | 1456,23           | 1253,37            | 1659,08            |
| 65            | 1449,37           | 1236,83            | 1661,9             |
| 66            | 1458,25           | 1237,32            | 1679,18            |
| 67            | 1455,57           | 1218,91            | 1692,23            |
| 68            | 1452,79           | 1206,25            | 1699,33            |
| 69            | 1456,17           | 1200,6             | 1711,74            |
| 70            | 1455,24           | 1188,36            | 1722,12            |
| 71            | 1454,12           | 1177,94            | 1730,3             |
| 72            | 1455,40           | 1170,45            | 1740,35            |
| 73            | 1455,08           | 1160,72            | 1749,45            |
| 74            | 1454,63           | 1151,66            | 1757,6             |
| 75            | 1455,12           | 1143,88            | 1766,36            |
| 76            | 1455,01           | 1135,39            | 1774,64            |
| 77            | 1454,83           | 1127,22            | 1782,45            |
| 78            | 1455,02           | 1119,64            | 1790,39            |
| 79            | 1454,98           | 1111,9             | 1798,06            |
| 80            | 1454,91           | 1104,36            | 1805,46            |

Tabla 16. Pronóstico y límites, unidad de negocio B02609.

| <b>B02609</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| 61            | 270,132           | 240,344            | 299,92             |
| 62            | 265,969           | 232,69             | 299,248            |
| 63            | 267,719           | 234,194            | 301,245            |
| 64            | 265,58            | 228,506            | 302,654            |
| 65            | 265,999           | 226,789            | 305,209            |
| 66            | 264,735           | 220,963            | 308,508            |
| 67            | 264,578           | 216,563            | 312,594            |
| 68            | 263,694           | 209,91             | 317,477            |
| 69            | 263,288           | 203,57             | 323,005            |
| 70            | 262,567           | 195,96             | 329,173            |
| 71            | 262,053           | 188,225            | 335,881            |
| 72            | 261,403           | 179,706            | 343,099            |
| 73            | 260,842           | 170,909            | 350,775            |
| 74            | 260,223           | 161,568            | 358,877            |
| 75            | 259,642           | 151,908            | 367,377            |
| 76            | 259,036           | 141,825            | 376,247            |
| 77            | 258,447           | 131,423            | 385,47             |
| 78            | 257,846           | 120,666            | 395,027            |
| 79            | 257,253           | 109,603            | 404,904            |
| 80            | 256,655           | 98,225             | 415,086            |

Tabla 17. Pronóstico y límites, unidad de negocio B02848.

| <b>B02848</b> |                   |                    |                    |
|---------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Data</b>   | <b>Pronóstico</b> | <b>L. Inferior</b> | <b>L. Superior</b> |
| 61            | 34,4393           | 20,1285            | 48,7501            |
| 62            | 34,4393           | 17,0579            | 51,8208            |
| 63            | 34,4393           | 14,4536            | 54,4251            |
| 64            | 34,4393           | 12,1515            | 56,7272            |
| 65            | 34,4393           | 10,0659            | 58,8128            |
| 66            | 34,4393           | 8,1452             | 60,7334            |
| 67            | 34,4393           | 6,3556             | 62,5231            |
| 68            | 34,4393           | 4,6734             | 64,2053            |
| 69            | 34,4393           | 3,0813             | 65,7974            |

|           |         |          |         |
|-----------|---------|----------|---------|
| <b>70</b> | 34,4393 | 1,5662   | 67,3125 |
| <b>71</b> | 34,4393 | 0,1179   | 68,7608 |
| <b>72</b> | 34,4393 | -1,2717  | 70,1504 |
| <b>73</b> | 34,4393 | -2,6092  | 71,4879 |
| <b>74</b> | 34,4393 | -3,9000  | 72,7787 |
| <b>75</b> | 34,4393 | -5,1488  | 74,0275 |
| <b>76</b> | 34,4393 | -6,3594  | 75,2381 |
| <b>77</b> | 34,4393 | -7,5351  | 76,4138 |
| <b>78</b> | 34,4393 | -8,6788  | 77,5575 |
| <b>79</b> | 34,4393 | -9,7929  | 78,6716 |
| <b>80</b> | 34,4393 | -10,8796 | 79,7583 |

## ANEXO E. Pronósticos e índices de precisión Zona Operativa 17

Tabla 1. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B00007.

| Data | Yt  | Ŷt            | Yt-Ŷt   | Yt  | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt   | Yt-Ŷt/Yt |
|------|-----|---------------|---------|-----|------------|---------|----------|
| 61   | 438 | <b>437,91</b> | 0,088   | 438 | 0,000      | 0,088   | 0,000    |
| 62   | 409 | <b>438,61</b> | 29,609  | 409 | 0,072      | -29,609 | -0,072   |
| 63   | 433 | <b>432,53</b> | 0,472   | 433 | 0,001      | 0,472   | 0,001    |
| 64   | 436 | <b>430,74</b> | 5,264   | 436 | 0,012      | 5,264   | 0,012    |
| 65   | 451 | <b>426,26</b> | 24,741  | 451 | 0,055      | 24,741  | 0,055    |
| 66   | 424 | <b>423,49</b> | 0,508   | 424 | 0,001      | 0,508   | 0,001    |
| 67   | 453 | <b>419,67</b> | 33,335  | 453 | 0,074      | 33,335  | 0,074    |
| 68   | 425 | <b>416,52</b> | 8,476   | 425 | 0,020      | 8,476   | 0,020    |
| 69   | 440 | <b>412,97</b> | 27,031  | 440 | 0,061      | 27,031  | 0,061    |
| 70   | 459 | <b>409,69</b> | 49,308  | 459 | 0,107      | 49,308  | 0,107    |
| 71   | 406 | <b>406,26</b> | 0,257   | 406 | 0,001      | -0,257  | -0,001   |
| 72   | 450 | <b>402,94</b> | 47,061  | 450 | 0,105      | 47,061  | 0,105    |
| 73   | 434 | <b>399,57</b> | 34,435  | 434 | 0,079      | 34,435  | 0,079    |
| 74   | 401 | <b>396,24</b> | 4,756   | 401 | 0,012      | 4,756   | 0,012    |
| 75   | 433 | <b>392,91</b> | 40,093  | 433 | 0,093      | 40,093  | 0,093    |
| 76   | 416 | <b>389,60</b> | 26,403  | 416 | 0,063      | 26,403  | 0,063    |
| 77   | 431 | <b>386,29</b> | 44,713  | 431 | 0,104      | 44,713  | 0,104    |
| 78   | 454 | <b>382,99</b> | 71,005  | 454 | 0,156      | 71,005  | 0,156    |
| 79   | 485 | <b>379,71</b> | 105,292 | 485 | 0,217      | 105,292 | 0,217    |
| 80   | 445 | <b>376,43</b> | 68,565  | 445 | 0,154      | 68,565  | 0,154    |
|      |     |               |         | Σ   | 1,388      | Σ       | 1,242    |

|             |        |
|-------------|--------|
| <b>n</b>    | 20     |
| <b>MAPE</b> | 6,940% |
| <b>MPE</b>  | 6,210% |

Tabla 2. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B00011.

| Data | Yt  | Ŷt             | Yt-Ŷt  | Yt  | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt   | Yt-Ŷt/Yt |
|------|-----|----------------|--------|-----|------------|---------|----------|
| 61   | 819 | <b>838,622</b> | 19,622 | 819 | 0,024      | -19,622 | -0,024   |
| 62   | 787 | <b>806,16</b>  | 19,160 | 787 | 0,024      | -19,160 | -0,024   |
| 63   | 847 | <b>823,519</b> | 23,481 | 847 | 0,028      | 23,481  | 0,028    |
| 64   | 863 | <b>790,500</b> | 72,500 | 863 | 0,084      | 72,500  | 0,084    |
| 65   | 815 | <b>794,797</b> | 20,203 | 815 | 0,025      | 20,203  | 0,025    |
| 66   | 758 | <b>788,614</b> | 30,614 | 758 | 0,040      | -30,614 | -0,040   |
| 67   | 812 | <b>764,679</b> | 47,321 | 812 | 0,058      | 47,321  | 0,058    |
| 68   | 773 | <b>769,182</b> | 3,818  | 773 | 0,005      | 3,818   | 0,005    |

|             |        |
|-------------|--------|
| <b>n</b>    | 20     |
| <b>MAPE</b> | 8,034% |
| <b>MPE</b>  | 6,614% |

|    |     |                |         |     |       |         |        |       |
|----|-----|----------------|---------|-----|-------|---------|--------|-------|
| 69 | 790 | <b>750,066</b> | 39,934  | 790 | 0,051 | 39,934  | 0,051  |       |
| 70 | 817 | <b>743,043</b> | 73,957  | 817 | 0,091 | 73,957  | 0,091  |       |
| 71 | 696 | <b>733,101</b> | 37,101  | 696 | 0,053 | -37,101 | -0,053 |       |
| 72 | 794 | <b>717,399</b> | 76,601  | 794 | 0,096 | 76,601  | 0,096  |       |
| 73 | 778 | <b>712,559</b> | 65,441  | 778 | 0,084 | 65,441  | 0,084  |       |
| 74 | 714 | <b>695,907</b> | 18,093  | 714 | 0,025 | 18,093  | 0,025  |       |
| 75 | 781 | <b>685,678</b> | 95,322  | 781 | 0,122 | 95,322  | 0,122  |       |
| 76 | 768 | <b>674,665</b> | 93,335  | 768 | 0,122 | 93,335  | 0,122  |       |
| 77 | 748 | <b>659,903</b> | 88,097  | 748 | 0,118 | 88,097  | 0,118  |       |
| 78 | 780 | <b>649,622</b> | 130,378 | 780 | 0,167 | 130,378 | 0,167  |       |
| 79 | 803 | <b>634,681</b> | 168,319 | 803 | 0,210 | 168,319 | 0,210  |       |
| 80 | 759 | <b>622,372</b> | 136,628 | 759 | 0,180 | 136,628 | 0,180  |       |
|    |     |                |         |     | Σ     | 1,607   | Σ      | 1,323 |

Tabla 3. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B00394.

| Data | Yt | Ŷt           | Yt-Ŷt  | Yt | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt   | Yt-Ŷt/Yt |        |
|------|----|--------------|--------|----|------------|---------|----------|--------|
| 61   | 76 | <b>74,26</b> | 1,738  | 76 | 0,023      | 1,738   | 0,023    |        |
| 62   | 66 | <b>70,13</b> | 4,130  | 66 | 0,063      | -4,130  | -0,063   |        |
| 63   | 66 | <b>68,57</b> | 2,573  | 66 | 0,039      | -2,573  | -0,039   |        |
| 64   | 68 | <b>71,20</b> | 3,197  | 68 | 0,047      | -3,197  | -0,047   |        |
| 65   | 66 | <b>69,04</b> | 3,036  | 66 | 0,046      | -3,036  | -0,046   |        |
| 66   | 57 | <b>68,11</b> | 11,110 | 57 | 0,195      | -11,110 | -0,195   |        |
| 67   | 67 | <b>69,07</b> | 2,071  | 67 | 0,031      | -2,071  | -0,031   |        |
| 68   | 66 | <b>67,83</b> | 1,829  | 66 | 0,028      | -1,829  | -0,028   |        |
| 69   | 61 | <b>67,18</b> | 6,178  | 61 | 0,101      | -6,178  | -0,101   |        |
| 70   | 75 | <b>67,38</b> | 7,622  | 75 | 0,102      | 7,622   | 0,102    |        |
| 71   | 57 | <b>66,56</b> | 9,564  | 57 | 0,168      | -9,564  | -0,168   |        |
|      |    |              |        |    | Σ          | 0,842   | Σ        | -0,593 |

|             |         |
|-------------|---------|
| <b>n</b>    | 11      |
| <b>MAPE</b> | 7,651%  |
| <b>MPE</b>  | -5,388% |

Tabla 4. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B01000.

| Data | Yt   | Ŷt             | Yt-Ŷt   | Yt   | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt   | Yt-Ŷt/Yt |
|------|------|----------------|---------|------|------------|---------|----------|
| 61   | 1354 | <b>1196,31</b> | 157,690 | 1354 | 0,116      | 157,690 | 0,116    |
| 62   | 1200 | <b>1216,13</b> | 16,130  | 1200 | 0,013      | -16,130 | -0,013   |
| 63   | 1266 | <b>1214,18</b> | 51,820  | 1266 | 0,041      | 51,820  | 0,041    |
| 64   | 1311 | <b>1200,79</b> | 110,210 | 1311 | 0,084      | 110,210 | 0,084    |
| 65   | 1327 | <b>1223,81</b> | 103,190 | 1327 | 0,078      | 103,190 | 0,078    |
| 66   | 1256 | <b>1198,19</b> | 57,810  | 1256 | 0,046      | 57,810  | 0,046    |

|             |         |
|-------------|---------|
| <b>n</b>    | 20      |
| <b>MAPE</b> | 8,775%  |
| <b>MPE</b>  | -3,409% |

|    |      |                |         |          |       |          |        |
|----|------|----------------|---------|----------|-------|----------|--------|
| 67 | 1366 | <b>1219,95</b> | 146,050 | 1366     | 0,107 | 146,050  | 0,107  |
| 68 | 1209 | <b>1206,51</b> | 2,490   | 1209     | 0,002 | 2,490    | 0,002  |
| 69 | 1213 | <b>1209,87</b> | 3,130   | 1213     | 0,003 | 3,130    | 0,003  |
| 70 | 1293 | <b>1215,7</b>  | 77,300  | 1293     | 0,060 | 77,300   | 0,060  |
| 71 | 987  | <b>1203,59</b> | 216,590 | 987      | 0,219 | -216,590 | -0,219 |
| 72 | 1107 | <b>1218,08</b> | 111,080 | 1107     | 0,100 | -111,080 | -0,100 |
| 73 | 1086 | <b>1205,01</b> | 119,010 | 1086     | 0,110 | -119,010 | -0,110 |
| 74 | 1003 | <b>1213,83</b> | 210,830 | 1003     | 0,210 | -210,830 | -0,210 |
| 75 | 1127 | <b>1210,62</b> | 83,620  | 1127     | 0,074 | -83,620  | -0,074 |
| 76 | 1103 | <b>1208,4</b>  | 105,400 | 1103     | 0,096 | -105,400 | -0,096 |
| 77 | 1072 | <b>1214,62</b> | 142,620 | 1072     | 0,133 | -142,620 | -0,133 |
| 78 | 1077 | <b>1206,53</b> | 129,530 | 1077     | 0,120 | -129,530 | -0,120 |
| 79 | 1175 | <b>1214,27</b> | 39,270  | 1175     | 0,033 | -39,270  | -0,033 |
| 80 | 1090 | <b>1208,64</b> | 118,640 | 1090     | 0,109 | -118,640 | -0,109 |
|    |      |                |         | $\Sigma$ | 1,755 | $\Sigma$ | -0,682 |

Tabla 5. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B01001.

| Data | Yt | $\hat{Y}_t$  | $ Y_t - \hat{Y}_t $ | $ Y_t $  | $ Y_t - \hat{Y}_t / Y_t $ | $Y_t - \hat{Y}_t$ | $Y_t - \hat{Y}_t/Y_t$ |
|------|----|--------------|---------------------|----------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| 61   | 52 | <b>49,90</b> | 2,099               | 52       | 0,040                     | 2,099             | 0,040                 |
| 62   | 45 | <b>52,18</b> | 7,184               | 45       | 0,160                     | -7,184            | -0,160                |
| 63   | 47 | <b>51,88</b> | 4,884               | 47       | 0,104                     | -4,884            | -0,104                |
| 64   | 50 | <b>51,58</b> | 1,585               | 50       | 0,032                     | -1,585            | -0,032                |
| 65   | 51 | <b>51,28</b> | 0,285               | 51       | 0,006                     | -0,285            | -0,006                |
| 66   | 47 | <b>50,99</b> | 3,985               | 47       | 0,085                     | -3,985            | -0,085                |
| 67   | 53 | <b>50,69</b> | 2,315               | 53       | 0,044                     | 2,315             | 0,044                 |
| 68   | 19 | <b>50,39</b> | 31,386              | 19       | 1,652                     | -31,386           | -1,652                |
|      |    |              |                     | $\Sigma$ | 2,122                     | $\Sigma$          | -1,953                |

|             |          |
|-------------|----------|
| <b>n</b>    | 8        |
| <b>MAPE</b> | 26,520%  |
| <b>MPE</b>  | -24,418% |

Tabla A5 6. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B01006.

| Data | Yt | $\hat{Y}_t$  | $ Y_t - \hat{Y}_t $ | $ Y_t $ | $ Y_t - \hat{Y}_t / Y_t $ | $Y_t - \hat{Y}_t$ | $Y_t - \hat{Y}_t/Y_t$ |
|------|----|--------------|---------------------|---------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| 61   | 35 | <b>33,06</b> | 1,943               | 35      | 0,056                     | 1,943             | 0,056                 |
| 62   | 30 | <b>32,98</b> | 2,985               | 30      | 0,099                     | -2,985            | -0,099                |
| 63   | 31 | <b>32,98</b> | 1,985               | 31      | 0,064                     | -1,985            | -0,064                |
| 64   | 34 | <b>32,98</b> | 1,015               | 34      | 0,030                     | 1,015             | 0,030                 |
| 65   | 34 | <b>32,98</b> | 1,015               | 34      | 0,030                     | 1,015             | 0,030                 |
| 66   | 31 | <b>32,98</b> | 1,985               | 31      | 0,064                     | -1,985            | -0,064                |
| 67   | 35 | <b>32,98</b> | 2,015               | 35      | 0,058                     | 2,015             | 0,058                 |

|             |         |
|-------------|---------|
| <b>n</b>    | 20      |
| <b>MAPE</b> | 4,481%  |
| <b>MPE</b>  | -0,708% |

|    |    |              |       |          |       |          |        |
|----|----|--------------|-------|----------|-------|----------|--------|
| 68 | 32 | <b>32,98</b> | 0,985 | 32       | 0,031 | -0,985   | -0,031 |
| 69 | 33 | <b>32,98</b> | 0,015 | 33       | 0,000 | 0,015    | 0,000  |
| 70 | 35 | <b>32,98</b> | 2,015 | 35       | 0,058 | 2,015    | 0,058  |
| 71 | 30 | <b>32,98</b> | 2,985 | 30       | 0,099 | -2,985   | -0,099 |
| 72 | 35 | <b>32,98</b> | 2,015 | 35       | 0,058 | 2,015    | 0,058  |
| 73 | 34 | <b>32,98</b> | 1,015 | 34       | 0,030 | 1,015    | 0,030  |
| 74 | 30 | <b>32,98</b> | 2,985 | 30       | 0,099 | -2,985   | -0,099 |
| 75 | 33 | <b>32,98</b> | 0,015 | 33       | 0,000 | 0,015    | 0,000  |
| 76 | 33 | <b>32,98</b> | 0,015 | 33       | 0,000 | 0,015    | 0,000  |
| 77 | 32 | <b>32,98</b> | 0,985 | 32       | 0,031 | -0,985   | -0,031 |
| 78 | 33 | <b>32,98</b> | 0,015 | 33       | 0,000 | 0,015    | 0,000  |
| 79 | 35 | <b>32,98</b> | 2,015 | 35       | 0,058 | 2,015    | 0,058  |
| 80 | 32 | <b>32,98</b> | 0,985 | 32       | 0,031 | -0,985   | -0,031 |
|    |    |              |       | $\Sigma$ | 0,896 | $\Sigma$ | -0,142 |

Tabla 7. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B01013.

| Data | Yt | Ŷt             | Yt-Ŷt  | Yt       | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt    | Yt-Ŷt/Yt |
|------|----|----------------|--------|----------|------------|----------|----------|
| 61   | 69 | <b>69,0069</b> | 0,007  | 69       | 0,000      | -0,007   | 0,000    |
| 62   | 62 | <b>67,3892</b> | 5,389  | 62       | 0,087      | -5,389   | -0,087   |
| 63   | 67 | <b>68,5862</b> | 1,586  | 67       | 0,024      | -1,586   | -0,024   |
| 64   | 68 | <b>68,5378</b> | 0,538  | 68       | 0,008      | -0,538   | -0,008   |
| 65   | 69 | <b>68,137</b>  | 0,863  | 69       | 0,013      | 0,863    | 0,013    |
| 66   | 63 | <b>68,3632</b> | 5,363  | 63       | 0,085      | -5,363   | -0,085   |
| 67   | 68 | <b>68,3879</b> | 0,388  | 68       | 0,006      | -0,388   | -0,006   |
| 68   | 58 | <b>68,2946</b> | 10,295 | 58       | 0,177      | -10,295  | -0,177   |
| 69   | 64 | <b>68,3345</b> | 4,335  | 64       | 0,068      | -4,335   | -0,068   |
| 70   | 72 | <b>68,3469</b> | 3,653  | 72       | 0,051      | 3,653    | 0,051    |
| 71   | 69 | <b>68,3262</b> | 0,674  | 69       | 0,010      | 0,674    | 0,010    |
|      |    |                |        | $\Sigma$ | 0,528      | $\Sigma$ | -0,382   |

|             |         |
|-------------|---------|
| <b>n</b>    | 11      |
| <b>MAPE</b> | 4,797%  |
| <b>MPE</b>  | -3,470% |

Tabla 8. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B01177.

| Data | Yt  | Ŷt            | Yt-Ŷt | Yt  | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt | Yt-Ŷt/Yt |
|------|-----|---------------|-------|-----|------------|-------|----------|
| 61   | 111 | <b>102,30</b> | 8,704 | 111 | 0,078      | 8,704 | 0,078    |
| 62   | 97  | <b>94,51</b>  | 2,489 | 97  | 0,026      | 2,489 | 0,026    |
| 63   | 97  | <b>94,18</b>  | 2,817 | 97  | 0,029      | 2,817 | 0,029    |
| 64   | 102 | <b>98,00</b>  | 3,997 | 102 | 0,039      | 3,997 | 0,039    |
| 65   | 103 | <b>95,96</b>  | 7,040 | 103 | 0,068      | 7,040 | 0,068    |

|             |        |
|-------------|--------|
| <b>n</b>    | 20     |
| <b>MAPE</b> | 5,816% |
| <b>MPE</b>  | 3,239% |

|    |     |              |        |          |       |          |        |
|----|-----|--------------|--------|----------|-------|----------|--------|
| 66 | 97  | <b>95,35</b> | 1,647  | 97       | 0,017 | 1,647    | 0,017  |
| 67 | 103 | <b>96,66</b> | 6,345  | 103      | 0,062 | 6,345    | 0,062  |
| 68 | 95  | <b>96,19</b> | 1,190  | 95       | 0,013 | -1,190   | -0,013 |
| 69 | 93  | <b>95,85</b> | 2,850  | 93       | 0,031 | -2,850   | -0,031 |
| 70 | 104 | <b>96,26</b> | 7,738  | 104      | 0,074 | 7,738    | 0,074  |
| 71 | 80  | <b>96,18</b> | 16,184 | 80       | 0,202 | -16,184  | -0,202 |
| 72 | 101 | <b>96,04</b> | 4,964  | 101      | 0,049 | 4,964    | 0,049  |
| 73 | 104 | <b>96,16</b> | 7,842  | 104      | 0,075 | 7,842    | 0,075  |
| 74 | 95  | <b>96,16</b> | 1,157  | 95       | 0,012 | -1,157   | -0,012 |
| 75 | 98  | <b>96,10</b> | 1,899  | 98       | 0,019 | 1,899    | 0,019  |
| 76 | 104 | <b>96,13</b> | 7,867  | 104      | 0,076 | 7,867    | 0,076  |
| 77 | 102 | <b>96,14</b> | 5,859  | 102      | 0,057 | 5,859    | 0,057  |
| 78 | 104 | <b>96,12</b> | 7,879  | 104      | 0,076 | 7,879    | 0,076  |
| 79 | 107 | <b>96,13</b> | 10,871 | 107      | 0,102 | 10,871   | 0,102  |
| 80 | 102 | <b>96,13</b> | 5,866  | 102      | 0,058 | 5,866    | 0,058  |
|    |     |              |        | $\Sigma$ | 1,163 | $\Sigma$ | 0,648  |

Tabla 9. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B01791.

| Data | Yt   | Ŷt             | Yt-Ŷt   | Yt   | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt    | Yt-Ŷt/Yt |
|------|------|----------------|---------|------|------------|----------|----------|
| 61   | 1715 | <b>1805,04</b> | 90,040  | 1715 | 0,053      | -90,040  | -0,053   |
| 62   | 1538 | <b>1694,07</b> | 156,070 | 1538 | 0,101      | -156,070 | -0,101   |
| 63   | 1616 | <b>1809,58</b> | 193,580 | 1616 | 0,120      | -193,580 | -0,120   |
| 64   | 1631 | <b>1730,27</b> | 99,270  | 1631 | 0,061      | -99,270  | -0,061   |
| 65   | 1702 | <b>1767,55</b> | 65,550  | 1702 | 0,039      | -65,550  | -0,039   |
| 66   | 1560 | <b>1794,11</b> | 234,110 | 1560 | 0,150      | -234,110 | -0,150   |
| 67   | 1598 | <b>1733,21</b> | 135,210 | 1598 | 0,085      | -135,210 | -0,085   |
| 68   | 1621 | <b>1811,69</b> | 190,690 | 1621 | 0,118      | -190,690 | -0,118   |
| 69   | 1603 | <b>1758,24</b> | 155,240 | 1603 | 0,097      | -155,240 | -0,097   |
| 70   | 1726 | <b>1787,13</b> | 61,130  | 1726 | 0,035      | -61,130  | -0,035   |
| 71   | 1540 | <b>1797,61</b> | 257,610 | 1540 | 0,167      | -257,610 | -0,167   |
| 72   | 1662 | <b>1769,82</b> | 107,820 | 1662 | 0,065      | -107,820 | -0,065   |
| 73   | 1694 | <b>1816,10</b> | 122,100 | 1694 | 0,072      | -122,100 | -0,072   |
| 74   | 1562 | <b>1781,17</b> | 219,170 | 1562 | 0,140      | -219,170 | -0,140   |
| 75   | 1603 | <b>1806,66</b> | 203,660 | 1603 | 0,127      | -203,660 | -0,127   |
| 76   | 1629 | <b>1809,34</b> | 180,340 | 1629 | 0,111      | -180,340 | -0,111   |
| 77   | 1521 | <b>1796,72</b> | 275,720 | 1521 | 0,181      | -275,720 | -0,181   |
| 78   | 1582 | <b>1824,96</b> | 242,960 | 1582 | 0,154      | -242,960 | -0,154   |
| 79   | 1616 | <b>1804,67</b> | 188,670 | 1616 | 0,117      | -188,670 | -0,117   |

|             |          |
|-------------|----------|
| <b>n</b>    | 20       |
| <b>MAPE</b> | 10,927%  |
| <b>MPE</b>  | -10,927% |

|    |      |                |         |          |       |          |        |
|----|------|----------------|---------|----------|-------|----------|--------|
| 80 | 1528 | <b>1824,10</b> | 296,100 | 1528     | 0,194 | -296,100 | -0,194 |
|    |      |                |         | $\Sigma$ | 2,185 | $\Sigma$ | -2,185 |

Tabla 10. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B01792.

| Data | Yt   | Ŷt             | Yt-Ŷt  | Yt       | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt    | Yt-Ŷt/Yt |
|------|------|----------------|--------|----------|------------|----------|----------|
| 61   | 972  | <b>974,02</b>  | 7,350  | 972      | 0,008      | 7,350    | 0,008    |
| 62   | 932  | <b>877,69</b>  | 14,833 | 932      | 0,016      | -14,833  | -0,016   |
| 63   | 942  | <b>1020,49</b> | 46,797 | 942      | 0,050      | -46,797  | -0,050   |
| 64   | 982  | <b>969,07</b>  | 21,435 | 982      | 0,022      | 21,435   | 0,022    |
| 65   | 997  | <b>970,54</b>  | 36,196 | 997      | 0,036      | 36,196   | 0,036    |
| 66   | 938  | <b>988,44</b>  | 40,243 | 938      | 0,043      | -40,243  | -0,043   |
| 67   | 1017 | <b>974,34</b>  | 55,271 | 1017     | 0,054      | 55,271   | 0,054    |
| 68   | 946  | <b>990,82</b>  | 20,316 | 946      | 0,021      | -20,316  | -0,021   |
| 69   | 983  | <b>917,09</b>  | 10,657 | 983      | 0,011      | 10,657   | 0,011    |
| 70   | 1021 | <b>987,21</b>  | 57,183 | 1021     | 0,056      | 57,183   | 0,056    |
| 71   | 887  | <b>947,64</b>  | 81,047 | 887      | 0,091      | -81,047  | -0,091   |
| 72   | 1012 | <b>985,90</b>  | 42,588 | 1012     | 0,042      | 42,588   | 0,042    |
| 73   | 975  | <b>974,87</b>  | 9,515  | 975      | 0,010      | 9,515    | 0,010    |
| 74   | 903  | <b>897,60</b>  | 65,316 | 903      | 0,072      | -65,316  | -0,072   |
| 75   | 999  | <b>999,14</b>  | 30,884 | 999      | 0,031      | 30,884   | 0,031    |
| 76   | 1001 | <b>975,09</b>  | 34,468 | 1001     | 0,034      | 34,468   | 0,034    |
| 77   | 951  | <b>977,96</b>  | 17,143 | 951      | 0,018      | -17,143  | -0,018   |
| 78   | 993  | <b>977,71</b>  | 25,378 | 993      | 0,026      | 25,378   | 0,026    |
| 79   | 1030 | <b>979,79</b>  | 62,897 | 1030     | 0,061      | 62,897   | 0,061    |
| 80   | 954  | <b>992,46</b>  | 13,916 | 954      | 0,015      | -13,916  | -0,015   |
|      |      |                |        | $\Sigma$ | 0,717      | $\Sigma$ | 0,064    |

|             |        |
|-------------|--------|
| <b>n</b>    | 20     |
| <b>MAPE</b> | 3,585% |
| <b>MPE</b>  | 0,322% |

Tabla 11. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B02155.

| Data | Yt | Ŷt           | Yt-Ŷt | Yt | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt  | Yt-Ŷt/Yt |
|------|----|--------------|-------|----|------------|--------|----------|
| 61   | 79 | <b>80,10</b> | 1,096 | 79 | 0,014      | -1,096 | -0,014   |
| 62   | 74 | <b>75,43</b> | 1,435 | 74 | 0,019      | -1,435 | -0,019   |
| 63   | 81 | <b>78,04</b> | 2,964 | 81 | 0,037      | 2,964  | 0,037    |
| 64   | 73 | <b>77,61</b> | 4,611 | 73 | 0,063      | -4,611 | -0,063   |

|             |        |
|-------------|--------|
| <b>n</b>    | 20     |
| <b>MAPE</b> | 5,598% |

|    |    |              |        |          |       |          |        |                    |  |
|----|----|--------------|--------|----------|-------|----------|--------|--------------------|--|
| 65 | 73 | <b>75,28</b> | 2,280  | 73       | 0,031 | -2,280   | -0,031 | <b>MPE</b> -4,568% |  |
| 66 | 69 | <b>76,70</b> | 7,698  | 69       | 0,112 | -7,698   | -0,112 |                    |  |
| 67 | 75 | <b>75,86</b> | 0,859  | 75       | 0,011 | -0,859   | -0,011 |                    |  |
| 68 | 80 | <b>74,68</b> | 5,315  | 80       | 0,066 | 5,315    | 0,066  |                    |  |
| 69 | 73 | <b>75,29</b> | 2,293  | 73       | 0,031 | -2,293   | -0,031 |                    |  |
| 70 | 74 | <b>74,46</b> | 0,457  | 74       | 0,006 | -0,457   | -0,006 |                    |  |
| 71 | 63 | <b>73,81</b> | 10,807 | 63       | 0,172 | -10,807  | -0,172 |                    |  |
| 72 | 72 | <b>73,92</b> | 1,924  | 72       | 0,027 | -1,924   | -0,027 |                    |  |
| 73 | 71 | <b>73,20</b> | 2,204  | 71       | 0,031 | -2,204   | -0,031 |                    |  |
| 74 | 64 | <b>72,77</b> | 8,766  | 64       | 0,137 | -8,766   | -0,137 |                    |  |
| 75 | 70 | <b>72,61</b> | 2,610  | 70       | 0,037 | -2,610   | -0,037 |                    |  |
| 76 | 64 | <b>72,01</b> | 8,007  | 64       | 0,125 | -8,007   | -0,125 |                    |  |
| 77 | 67 | <b>71,64</b> | 4,638  | 67       | 0,069 | -4,638   | -0,069 |                    |  |
| 78 | 71 | <b>71,34</b> | 0,341  | 71       | 0,005 | -0,341   | -0,005 |                    |  |
| 79 | 68 | <b>70,83</b> | 2,825  | 68       | 0,042 | -2,825   | -0,042 |                    |  |
| 80 | 65 | <b>70,47</b> | 5,466  | 65       | 0,084 | -5,466   | -0,084 |                    |  |
|    |    |              |        | $\Sigma$ | 1,120 | $\Sigma$ | -0,914 |                    |  |

Tabla 12. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B02161.

| Data | Yt | Ŷt           | Yt-Ŷt | Yt | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt  | Yt-Ŷt/Yt |
|------|----|--------------|-------|----|------------|--------|----------|
| 61   | 44 | <b>42,91</b> | 1,085 | 44 | 0,025      | 1,085  | 0,025    |
| 62   | 41 | <b>45,44</b> | 4,443 | 41 | 0,108      | -4,443 | -0,108   |
| 63   | 46 | <b>49,21</b> | 3,206 | 46 | 0,070      | -3,206 | -0,070   |
| 64   | 44 | <b>45,18</b> | 1,179 | 44 | 0,027      | -1,179 | -0,027   |
| 65   | 44 | <b>46,22</b> | 2,215 | 44 | 0,050      | -2,215 | -0,050   |
| 66   | 45 | <b>47,50</b> | 2,496 | 45 | 0,055      | -2,496 | -0,055   |
| 67   | 45 | <b>46,04</b> | 1,037 | 45 | 0,023      | -1,037 | -0,023   |
| 68   | 43 | <b>46,45</b> | 3,454 | 43 | 0,080      | -3,454 | -0,080   |
| 69   | 47 | <b>46,89</b> | 0,112 | 47 | 0,002      | 0,112  | 0,002    |
| 70   | 44 | <b>46,36</b> | 2,360 | 44 | 0,054      | -2,360 | -0,054   |
| 71   | 41 | <b>46,53</b> | 5,526 | 41 | 0,135      | -5,526 | -0,135   |
| 72   | 48 | <b>46,67</b> | 1,328 | 48 | 0,028      | 1,328  | 0,028    |
| 73   | 44 | <b>46,48</b> | 2,481 | 44 | 0,056      | -2,481 | -0,056   |
| 74   | 41 | <b>46,55</b> | 5,547 | 41 | 0,135      | -5,547 | -0,135   |
| 75   | 54 | <b>46,60</b> | 7,405 | 54 | 0,137      | 7,405  | 0,137    |
| 76   | 43 | <b>46,53</b> | 3,527 | 43 | 0,082      | -3,527 | -0,082   |
| 77   | 45 | <b>46,55</b> | 1,552 | 45 | 0,034      | -1,552 | -0,034   |

|             |         |
|-------------|---------|
| <b>n</b>    | 20      |
| <b>MAPE</b> | 5,992%  |
| <b>MPE</b>  | -3,577% |

|    |    |              |       |          |       |          |        |
|----|----|--------------|-------|----------|-------|----------|--------|
| 78 | 49 | <b>46,57</b> | 2,432 | 49       | 0,050 | 2,432    | 0,050  |
| 79 | 45 | <b>46,54</b> | 1,544 | 45       | 0,034 | -1,544   | -0,034 |
| 80 | 46 | <b>46,55</b> | 0,553 | 46       | 0,012 | -0,553   | -0,012 |
|    |    |              |       | $\Sigma$ | 1,198 | $\Sigma$ | -0,715 |

Tabla 13. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B02163.

| Data | Yt  | $\hat{Y}_t$   | $ Y_t - \hat{Y}_t $ | Yt       | $ Y_t - \hat{Y}_t / Y_t $ | Yt- $\hat{Y}_t$ | $Y_t - \hat{Y}_t/Y_t$ |
|------|-----|---------------|---------------------|----------|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| 61   | 404 | <b>403,80</b> | 0,203               | 404      | 0,001                     | 0,203           | 0,001                 |
| 62   | 361 | <b>403,80</b> | 42,797              | 361      | 0,119                     | -42,797         | -0,119                |
| 63   | 389 | <b>403,80</b> | 14,797              | 389      | 0,038                     | -14,797         | -0,038                |
| 64   | 409 | <b>403,80</b> | 5,203               | 409      | 0,013                     | 5,203           | 0,013                 |
| 65   | 409 | <b>403,80</b> | 5,203               | 409      | 0,013                     | 5,203           | 0,013                 |
| 66   | 393 | <b>403,80</b> | 10,797              | 393      | 0,027                     | -10,797         | -0,027                |
| 67   | 417 | <b>403,80</b> | 13,203              | 417      | 0,032                     | 13,203          | 0,032                 |
| 68   | 378 | <b>403,80</b> | 25,797              | 378      | 0,068                     | -25,797         | -0,068                |
| 69   | 376 | <b>403,80</b> | 27,797              | 376      | 0,074                     | -27,797         | -0,074                |
| 70   | 446 | <b>403,80</b> | 42,203              | 446      | 0,095                     | 42,203          | 0,095                 |
| 71   | 354 | <b>403,80</b> | 49,797              | 354      | 0,141                     | -49,797         | -0,141                |
| 72   | 402 | <b>403,80</b> | 1,797               | 402      | 0,004                     | -1,797          | -0,004                |
| 73   | 415 | <b>403,80</b> | 11,203              | 415      | 0,027                     | 11,203          | 0,027                 |
| 74   | 368 | <b>403,80</b> | 35,797              | 368      | 0,097                     | -35,797         | -0,097                |
| 75   | 402 | <b>403,80</b> | 1,797               | 402      | 0,004                     | -1,797          | -0,004                |
| 76   | 408 | <b>403,80</b> | 4,203               | 408      | 0,010                     | 4,203           | 0,010                 |
| 77   | 398 | <b>403,80</b> | 5,797               | 398      | 0,015                     | -5,797          | -0,015                |
| 78   | 415 | <b>403,80</b> | 11,203              | 415      | 0,027                     | 11,203          | 0,027                 |
| 79   | 423 | <b>403,80</b> | 19,203              | 423      | 0,045                     | 19,203          | 0,045                 |
| 80   | 388 | <b>403,80</b> | 15,797              | 388      | 0,041                     | -15,797         | -0,041                |
|      |     |               |                     | $\Sigma$ | 0,890                     | $\Sigma$        | -0,366                |

|             |         |
|-------------|---------|
| <b>n</b>    | 20      |
| <b>MAPE</b> | 4,452%  |
| <b>MPE</b>  | -1,832% |

Tabla 14. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B02165.

| Período | Yt   | $\hat{Y}_t$    | $ Y_t - \hat{Y}_t $ | Yt   | $ Y_t - \hat{Y}_t / Y_t $ | Yt- $\hat{Y}_t$ | $Y_t - \hat{Y}_t/Y_t$ |
|---------|------|----------------|---------------------|------|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| 61      | 2231 | <b>2230,26</b> | 0,74                | 2231 | 0,000                     | 0,74            | 0,000                 |
| 62      | 1937 | <b>2069,54</b> | 132,54              | 1937 | 0,068                     | -132,54         | -0,068                |
| 63      | 2035 | <b>1961,3</b>  | 73,7                | 2035 | 0,036                     | 73,7            | 0,036                 |
| 64      | 2117 | <b>2177,75</b> | 60,75               | 2117 | 0,029                     | -60,75          | -0,029                |
| 65      | 2160 | <b>2033,37</b> | 126,63              | 2160 | 0,059                     | 126,63          | 0,059                 |
| 66      | 2020 | <b>2032,82</b> | 12,82               | 2020 | 0,006                     | -12,82          | -0,006                |

|             |       |
|-------------|-------|
| <b>n</b>    | 20    |
| <b>MAPE</b> | 4,78% |
| <b>MPE</b>  | 1,42% |

|    |      |                |        |          |       |          |        |
|----|------|----------------|--------|----------|-------|----------|--------|
| 67 | 2221 | <b>2130,31</b> | 90,69  | 2221     | 0,041 | 90,69    | 0,041  |
| 68 | 2067 | <b>2032,92</b> | 34,08  | 2067     | 0,016 | 34,08    | 0,016  |
| 69 | 2135 | <b>2065,13</b> | 69,87  | 2135     | 0,033 | 69,87    | 0,033  |
| 70 | 2233 | <b>2098,22</b> | 134,78 | 2233     | 0,06  | 134,78   | 0,06   |
| 71 | 1974 | <b>2043,41</b> | 69,41  | 1974     | 0,035 | -69,41   | -0,035 |
| 72 | 2254 | <b>2076,16</b> | 177,84 | 2254     | 0,079 | 177,84   | 0,079  |
| 73 | 2170 | <b>2080,12</b> | 89,88  | 2170     | 0,041 | 89,88    | 0,041  |
| 74 | 1791 | <b>2054,16</b> | 263,16 | 1791     | 0,147 | -263,16  | -0,147 |
| 75 | 1978 | <b>2077,53</b> | 99,53  | 1978     | 0,05  | -99,53   | -0,05  |
| 76 | 2179 | <b>2071,52</b> | 107,48 | 2179     | 0,049 | 107,48   | 0,049  |
| 77 | 2133 | <b>2061,85</b> | 71,15  | 2133     | 0,033 | 71,15    | 0,033  |
| 78 | 2187 | <b>2075,58</b> | 111,42 | 2187     | 0,051 | 111,42   | 0,051  |
| 79 | 2304 | <b>2068,31</b> | 235,69 | 2304     | 0,102 | 235,69   | 0,102  |
| 80 | 2105 | <b>2066,39</b> | 38,61  | 2105     | 0,018 | 38,61    | 0,018  |
|    |      |                |        | $\Sigma$ | 0,956 | $\Sigma$ | 0,284  |

Tabla 15. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B02175.

| Data | Yt   | $\hat{Y}_t$    | $ Y_t - \hat{Y}_t $ | $ Y_t $ | $ Y_t - \hat{Y}_t / Y_t $ | $Y_t - \hat{Y}_t$ | $Y_t - \hat{Y}_t/Y_t$ |
|------|------|----------------|---------------------|---------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| 61   | 1501 | <b>1457,39</b> | 43,610              | 1501    | 0,029                     | 43,610            | 0,029                 |
| 62   | 1319 | <b>1440,57</b> | 121,570             | 1319    | 0,092                     | -121,570          | -0,092                |
| 63   | 1388 | <b>1463,86</b> | 75,860              | 1388    | 0,055                     | -75,860           | -0,055                |
| 64   | 1409 | <b>1456,23</b> | 47,230              | 1409    | 0,034                     | -47,230           | -0,034                |
| 65   | 1484 | <b>1449,37</b> | 34,630              | 1484    | 0,023                     | 34,630            | 0,023                 |
| 66   | 1396 | <b>1458,25</b> | 62,250              | 1396    | 0,045                     | -62,250           | -0,045                |
| 67   | 1467 | <b>1455,57</b> | 11,430              | 1467    | 0,008                     | 11,430            | 0,008                 |
| 68   | 1370 | <b>1452,79</b> | 82,790              | 1370    | 0,060                     | -82,790           | -0,060                |
| 69   | 1431 | <b>1456,17</b> | 25,170              | 1431    | 0,018                     | -25,170           | -0,018                |
| 70   | 1447 | <b>1455,24</b> | 8,240               | 1447    | 0,006                     | -8,240            | -0,006                |
| 71   | 1293 | <b>1454,12</b> | 161,120             | 1293    | 0,125                     | -161,120          | -0,125                |
| 72   | 1433 | <b>1455,4</b>  | 22,400              | 1433    | 0,016                     | -22,400           | -0,016                |
| 73   | 1461 | <b>1455,08</b> | 5,920               | 1461    | 0,004                     | 5,920             | 0,004                 |
| 74   | 1294 | <b>1454,63</b> | 160,630             | 1294    | 0,124                     | -160,630          | -0,124                |
| 75   | 1442 | <b>1455,12</b> | 13,120              | 1442    | 0,009                     | -13,120           | -0,009                |
| 76   | 1376 | <b>1455,01</b> | 79,010              | 1376    | 0,057                     | -79,010           | -0,057                |
| 77   | 1379 | <b>1454,83</b> | 75,830              | 1379    | 0,055                     | -75,830           | -0,055                |
| 78   | 1436 | <b>1455,02</b> | 19,020              | 1436    | 0,013                     | -19,020           | -0,013                |
| 79   | 1484 | <b>1454,98</b> | 29,020              | 1484    | 0,020                     | 29,020            | 0,020                 |

|      |         |
|------|---------|
| n    | 20      |
| MAPE | 4,099%  |
| MPE  | -3,261% |

|    |      |                |        |          |       |          |        |
|----|------|----------------|--------|----------|-------|----------|--------|
| 80 | 1415 | <b>1454,91</b> | 39,910 | 1415     | 0,028 | -39,910  | -0,028 |
|    |      |                |        | $\Sigma$ | 0,820 | $\Sigma$ | -0,652 |

Tabla 16. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B02609.

| Data | Yt  | Ŷt            | Yt-Ŷt  | Yt       | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt    | Yt-Ŷt/Yt |
|------|-----|---------------|--------|----------|------------|----------|----------|
| 61   | 256 | <b>270,13</b> | 14,132 | 256      | 0,055      | -14,132  | -0,055   |
| 62   | 240 | <b>265,97</b> | 25,969 | 240      | 0,108      | -25,969  | -0,108   |
| 63   | 260 | <b>267,72</b> | 7,719  | 260      | 0,030      | -7,719   | -0,030   |
| 64   | 260 | <b>265,58</b> | 5,580  | 260      | 0,021      | -5,580   | -0,021   |
| 65   | 266 | <b>266,00</b> | 0,001  | 266      | 0,000      | 0,001    | 0,000    |
| 66   | 252 | <b>264,74</b> | 12,735 | 252      | 0,051      | -12,735  | -0,051   |
| 67   | 271 | <b>264,58</b> | 6,422  | 271      | 0,024      | 6,422    | 0,024    |
| 68   | 254 | <b>263,69</b> | 9,694  | 254      | 0,038      | -9,694   | -0,038   |
| 69   | 263 | <b>263,29</b> | 0,288  | 263      | 0,001      | -0,288   | -0,001   |
| 70   | 270 | <b>262,57</b> | 7,433  | 270      | 0,028      | 7,433    | 0,028    |
| 71   | 239 | <b>262,05</b> | 23,053 | 239      | 0,096      | -23,053  | -0,096   |
| 72   | 258 | <b>261,40</b> | 3,403  | 258      | 0,013      | -3,403   | -0,013   |
| 73   | 258 | <b>260,84</b> | 2,842  | 258      | 0,011      | -2,842   | -0,011   |
| 74   | 236 | <b>260,22</b> | 24,223 | 236      | 0,103      | -24,223  | -0,103   |
| 75   | 259 | <b>259,64</b> | 0,642  | 259      | 0,002      | -0,642   | -0,002   |
| 76   | 254 | <b>259,04</b> | 5,036  | 254      | 0,020      | -5,036   | -0,020   |
| 77   | 252 | <b>258,45</b> | 6,447  | 252      | 0,026      | -6,447   | -0,026   |
| 78   | 260 | <b>257,85</b> | 2,154  | 260      | 0,008      | 2,154    | 0,008    |
| 79   | 267 | <b>257,25</b> | 9,747  | 267      | 0,037      | 9,747    | 0,037    |
| 80   | 254 | <b>256,66</b> | 2,655  | 254      | 0,010      | -2,655   | -0,010   |
|      |     |               |        | $\Sigma$ | 0,682      | $\Sigma$ | -0,490   |

|             |         |
|-------------|---------|
| <b>n</b>    | 20      |
| <b>MAPE</b> | 3,410%  |
| <b>MPE</b>  | -2,450% |

Tabla 17. Pronóstico e índices de precisión, unidad de negocio B02848.

| Data | Yt | Ŷt           | Yt-Ŷt | Yt | Yt-Ŷt / Yt | Yt-Ŷt  | Yt-Ŷt/Yt |
|------|----|--------------|-------|----|------------|--------|----------|
| 61   | 34 | <b>34,44</b> | 0,439 | 34 | 0,013      | -0,439 | -0,013   |
| 62   | 32 | <b>34,44</b> | 2,439 | 32 | 0,076      | -2,439 | -0,076   |
| 63   | 34 | <b>34,44</b> | 0,439 | 34 | 0,013      | -0,439 | -0,013   |
| 64   | 37 | <b>34,44</b> | 2,561 | 37 | 0,069      | 2,561  | 0,069    |
| 65   | 39 | <b>34,44</b> | 4,561 | 39 | 0,117      | 4,561  | 0,117    |
| 66   | 36 | <b>34,44</b> | 1,561 | 36 | 0,043      | 1,561  | 0,043    |
| 67   | 38 | <b>34,44</b> | 3,561 | 38 | 0,094      | 3,561  | 0,094    |
| 68   | 36 | <b>34,44</b> | 1,561 | 36 | 0,043      | 1,561  | 0,043    |

|             |        |
|-------------|--------|
| <b>n</b>    | 20     |
| <b>MAPE</b> | 5,974% |
| <b>MPE</b>  | 2,864% |

|    |    |              |       |          |       |          |        |
|----|----|--------------|-------|----------|-------|----------|--------|
| 69 | 37 | <b>34,44</b> | 2,561 | 37       | 0,069 | 2,561    | 0,069  |
| 70 | 40 | <b>34,44</b> | 5,561 | 40       | 0,139 | 5,561    | 0,139  |
| 71 | 33 | <b>34,44</b> | 1,439 | 33       | 0,044 | -1,439   | -0,044 |
| 72 | 38 | <b>34,44</b> | 3,561 | 38       | 0,094 | 3,561    | 0,094  |
| 73 | 37 | <b>34,44</b> | 2,561 | 37       | 0,069 | 2,561    | 0,069  |
| 74 | 32 | <b>34,44</b> | 2,439 | 32       | 0,076 | -2,439   | -0,076 |
| 75 | 36 | <b>34,44</b> | 1,561 | 36       | 0,043 | 1,561    | 0,043  |
| 76 | 36 | <b>34,44</b> | 1,561 | 36       | 0,043 | 1,561    | 0,043  |
| 77 | 34 | <b>34,44</b> | 0,439 | 34       | 0,013 | -0,439   | -0,013 |
| 78 | 35 | <b>34,44</b> | 0,561 | 35       | 0,016 | 0,561    | 0,016  |
| 79 | 36 | <b>34,44</b> | 1,561 | 36       | 0,043 | 1,561    | 0,043  |
| 80 | 32 | <b>34,44</b> | 2,439 | 32       | 0,076 | -2,439   | -0,076 |
|    |    |              |       | $\Sigma$ | 1,195 | $\Sigma$ | 0,573  |

# ANEXO F. Organización y presentación pronósticos método ARIMA

Figura 1. Organización y presentación pronósticos empleando método ARIMA.

## Angleton - B01013

## Método ARIMA Box-Jenkins



Gestión de la Construcción

