

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

### MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

---

**Tema:** “MODELO MATEMÁTICO PROSPECTIVO PARA LA  
GENERACIÓN DE DESECHOS HOSPITALARIOS EN  
EL CANTÓN AMBATO”

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magíster en  
Matemática Aplicada

Modalidad de titulación proyecto de desarrollo

**Autor:** Ing. Liliana Rocío Bastidas Sarabia

**Director:** Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios, Mg.

Ambato – Ecuador

2021

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg., e integrado por los señores: Ingeniero Ernesto Antonio Ponsot Balaguer Doctor, Ingeniera Clara Augusta Sánchez Benítez Magister, designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrados de la Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: “Modelo matemático prospectivo para la generación de desechos hospitalarios en el cantón Ambato”, elaborado y presentado por la Ing. Liliana Rocío Bastidas Sarabia, para optar por el Grado Académico de Magister en Matemática Aplicada; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.  
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Ernesto Antonio Ponsot Balaguer Dr.  
Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Clara Augusta Sánchez Benítez Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de titulación presentado con el tema: “Modelo matemático prospectivo para la generación de desechos hospitalarios en el cantón Ambato”, le corresponde exclusivamente a la: Ing. Liliana Rocío Bastidas Sarabia, autor bajo la dirección de: Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios, Mg, director del trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual pertenece a la Universidad Técnica de Ambato

-----  
Ing. Liliana Rocío Bastidas Sarabia

**AUTOR**

-----  
Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios, Mg

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el trabajo de titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Liliana Rocío Bastidas Sarabia

CI- 1804018834

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
AGRADECIMIENTO .....	x
DEDICATORIA .....	xi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xii
EXECUTIVE SUMMARY.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1.    Introducción.....	1
1.2.    Justificación.....	2
1.3.    Objetivos .....	4
1.3.1.    Objetivo General .....	4
1.3.2.    Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II .....	5
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.1.    Estado del Arte .....	5
2.2.    Información general .....	10
2.2.1.    Definiciones conceptuales.....	10
2.2.1.1.    Desechos generados en un hospital.....	11
2.2.1.2.    Clasificación de los desechos hospitalarios .....	12
2.2.1.3.    Características de los recipientes para los desechos hospitalarios .....	13

2.2.1.4. Recolección, transporte y disposición final de desechos hospitalarios	14
2.3. Marco teórico	15
2.3.1. Conceptos básicos	15
2.3.1.1. Métodos de predicción.	17
2.3.1.2. Modelos ARIMA	18
2.3.1.3. Estrategia de modelización de un SARIMA	19
CAPÍTULO III	23
MARCO METODOLÓGICO	23
3.1. Ubicación	23
3.2. Equipos y materiales	26
3.3. Tipo de investigación	27
3.4. Problema e hipótesis	28
3.5. Recolección de información	28
3.6. Procesamiento y análisis estadístico	28
3.7. Variables respuesta o resultados alcanzados	30
CAPÍTULO IV	32
RESULTADOS Y DISCUSIONES	32
4.1. Variables y estructura de la base de datos	32
4.2. Transformación de los datos históricos a una serie de tiempo	33
4.3. Modelo SARIMA según la metodología Box-Jenkins	33
4.3.1. ETAPA 1. Identificación del modelo	34
4.3.2. ETAPA 2. Estimación de los parámetros del modelo	40
4.3.3. ETAPA 3. Evaluación del modelo	42
4.3.4. ETAPA 4. Predicción en base del modelo	45
PROPUESTA	50
CAPÍTULO V	58
5.1. CONCLUSIONES	58

5.2.	RECOMENDACIONES .....	59
5.3.	BIBLIOGRAFÍA.....	60
5.4.	ANEXOS.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Desechos hospitalarios .....	12
<b>Tabla 2.</b> Variables y estructura de la base de datos.....	32
<b>Tabla 3.</b> Test de Dickey Fuller .....	34
<b>Tabla 4.</b> Test de Dickey Fuller .....	37
<b>Tabla 5.</b> Modelos propuestos .....	39
<b>Tabla 6.</b> Resumen del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] .....	40
<b>Tabla 7.</b> Estimación del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] .....	41
<b>Tabla 8.</b> Test de Kolmogórov-Smirnov .....	44
<b>Tabla 9.</b> Test de Ljung-Box .....	45
<b>Tabla 10.</b> Comparación entre los datos de entrenamiento y testeo .....	46
<b>Tabla 11.</b> Pronósticos de desechos sólidos hospitalarios mensuales .....	48
<b>Tabla 12.</b> Masa y volumen .....	51
<b>Tabla 13.</b> Densidad.....	53
<b>Tabla 14.</b> Masa y volumen estimado.....	54
<b>Tabla 15.</b> Recursos .....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Etapas de la metodología de Box-Jenkins .....	20
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la empresa EPM GIDSA .....	24
<b>Figura 3.</b> Desechos sólidos hospitalarios .....	25
<b>Figura 4.</b> Serie de tiempo de generación de desechos sólidos mensuales. ....	33
<b>Figura 5.</b> Descomposición de la serie de tiempo desechos sólidos.....	35
<b>Figura 6.</b> Serie de tiempo de desechos sólidos estacionaria. ....	36
<b>Figura 7.</b> Comportamiento y tendencia de la serie con una primera diferencia.....	37
<b>Figura 8.</b> Correlogramas ACF y PACF.....	38
<b>Figura 9.</b> Residuos del modelo SARIMA. ....	42
<b>Figura 10.</b> Diagnóstico del modelo SARIMA. ....	43
<b>Figura 11.</b> Comportamiento de la serie de entrenamiento y testeó.....	47
<b>Figura 12.</b> Comportamiento de las proyecciones.....	49
<b>Figura 13.</b> Autoclave.....	56
<b>Figura 14.</b> Ciudad de Ambato .....	64
<b>Figura 15.</b> Empresa Pública Municipal de Desechos Sólidos de Ambato .....	64
<b>Figura 16.</b> Ubicación del relleno sanitario. ....	65
<b>Figura 17.</b> Celda de desechos sólidos sanitarios. ....	65
<b>Figura 18.</b> Carro recolector y toma de datos de los desechos sólidos hospitalarios. 65	
<b>Figura 19.</b> Disposición final de desechos sólidos hospitalarios.....	65
<b>Figura 20.</b> Base de datos de desechos sólidos recolectados mensualmente.....	65
<b>Figura 21.</b> Script de modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12]. ....	65

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la oportunidad de disfrutar la vida y poder estar siempre en constante aprendizaje.

A mi familia por siempre brindarme apoyo incondicional.

Quisiera extender un sincero agradecimiento al Dr. Freddy Benalcázar por brindarme todo el apoyo necesario para que este proyecto de Tesis haya concluido.

De igual manera a los asesores de tesis por compartir sus conocimientos y ser partícipes del desarrollo de este trabajo.

Liliana Rocío Bastidas Sarabia

## **DEDICATORIA**

A mis hijas Amy y Leah por ser el motor que me ha impulsado al desarrollo profesional, a mi esposo Geovanny quién ha sido el apoyo incondicional en todo el periodo de estudios de la presente maestría, gracias por ser un buen padre, compañero y pareja. A mis padres y hermanos por brindarme su apoyo en todo momento, a mis amigos y compañeros que me estuvieron apoyando incondicionalmente en lo largo de mi carrera gracias, finalmente una gratitud a mi tutor de tesis Dr. Freddy Benalcázar por su guía y comprensión.

Liliana Rocío Bastidas Sarabia

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA**

**TEMA:**

“MODELO MATEMÁTICO PROSPECTIVO PARA LA GENERACIÓN DE DESECHOS HOSPITALARIOS EN EL CANTÓN AMBATO”

**AUTOR:** Ing. Liliana Rocío Bastidas Sarabia

**DIRECTOR:** Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios, Mg.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Modelamiento matemático

**FECHA:** 30 de agosto 2021

**RESUMEN EJECUTIVO**

La presente investigación es de tipo descriptiva, longitudinal y proyectiva, con la finalidad de desarrollar un modelo matemático prospectivo para la generación de desechos hospitalarios en el cantón Ambato, mediante la base de datos del sistema SIPECA de la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de los Desechos Sólidos de Ambato comprendida en el periodo enero 2014 a marzo 2020.

En esta investigación se aplicaron las series de tiempo, en especial los modelos SARIMA que son construidos bajo la metodología de Box-Jenkins. Para el análisis y procesamiento de la base de datos se utilizó el software libre RStudio versión 4.0.1 y también se construyó el código informático.

Se logró construir un modelo matemático que permite analizar, explicar, describir y predecir satisfactoriamente la producción de desechos sólidos hospitalarios recolectados mensualmente en el cantón Ambato. Se concluye que el modelo que cumple con las pruebas de adecuacidad y de aleatoriedad es el SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] cuya ecuación de pronósticos es:  $\Delta \hat{Y}_t = -0.326 Y_{t-1} + 0.992 Y_{t-12} + 0.7882 \epsilon_{t-1} + 0.8934 \epsilon_{t-12} + \epsilon_t$ , con este modelo se generaron las proyecciones para el periodo abril 2021 a marzo 2022.

En base a las proyecciones realizadas se identificó que las celdas de seguridad para la disposición final de los desechos hospitalarios ocupan un excesivo volumen en el relleno sanitario, por lo cual se propone utilizar equipos tecnológicos como el autoclave, que ayuda al tratamiento de los desechos sólidos hospitalarios, logrando convertir los desechos en residuos inertes y reduciendo su volumen en un 80%.

**Descriptor:** Autoclave, celdas de seguridad, desechos hospitalarios, modelo matemático, residuos, series de tiempo, tratamiento.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**FACULTY OF SYSTEMS, ELECTRONIC AND INDUSTRIAL**  
**ENGINEERING**  
**MASTER'S OF APPLIED MATHEMATICS**

**THEME:**

"PROSPECTIVE MATHEMATICAL MODEL FOR THE GENERATION OF HOSPITAL WASTE IN THE AMBATO CANTON"

**AUTHOR:** Ing. Liliana Rocío Bastidas Sarabia

**DIRECTED BY:** Dr. Freddy Geovanny Benalcázar Palacios, Mg.

**RESEARCH LINE:** Mathematical modeling

**DATE:** August 30, 2021

**EXECUTIVE SUMMARY**

This research is descriptive, longitudinal and projective, in order to develop a prospective mathematical model for the generation of hospital waste in the canton of Ambato, through the database of the SIPECA system of the Municipal Public Company for the Integral Management of Solid Waste from Ambato comprised in the period January 2014 to March 2020.

In this research, the time series was applied, especially the SARIMA models that are built under the Box-Jenkins methodology. For the analysis and processing of the database, the free software RStudio version 4.0.1 was used and the computer code was also built.

It was possible to build a mathematical model that allows to satisfactorily analyze, explain, describe and predict the production of solid hospital waste collected monthly in the Ambato canton. It is concluded that the model that meets the tests of adequacy and randomness is the SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] whose forecasting equation is:  $\Delta \hat{Y}_t = -0.326 Y_{t-1} + 0.992 Y_{t-12} + 0.7882 \epsilon_{t-1} + 0.8934 \epsilon_{t-12} + \epsilon_t$ , with this model the projections for the period April 2021 to March 2022 were generated.

Based on the projections made, it was identified that the security cells for the final disposal of hospital waste occupy an excessive volume in the sanitary landfill, for

which it is proposed to use technological equipment such as the autoclave, the same one that helps to treat the waste. solid hospital waste, managing to convert waste into inert waste and reducing its volume by 80%.

**Keywords:** Autoclave, safety cells, hospital waste, mathematical model, waste, time series, treatment.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Introducción

Los residuos hospitalarios como los cortopunzantes, infecciosos y farmacéuticos representan una problemática en la salud pública por su crecimiento actual y el gran potencial que tienen para afectar la salud y el ambiente.

En el caso del cantón Ambato, a través de la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos del cantón Ambato (EPM GIDSA), se cuenta con el relleno sanitario que actualmente dispone de celdas de seguridad para la disposición final de los desechos hospitalarios, las cuales se encuentran colapsadas en su capacidad, debido a errores de proyección del volumen que se puede llegar a obtener en un periodo de 20 años, que es la vida útil del relleno sanitario.

Esta investigación se encuentra encaminada al desarrollo de un modelo matemático que permita explicar, describir y pronosticar la cantidad adecuada de desechos sólidos recolectados mensualmente. En los 70s Box-Jenkins propuso una metodología para la construcción del modelo matemático, la misma que cuenta con cuatro etapas: identificación, estimación, evaluación y predicción.

Dentro de la etapa de identificación como primer punto se determinó si la serie de tiempo cumplía con la estacionariedad, estacionalidad y la tendencia, para lo cual se utilizó el gráfico de las características de la serie de tiempo y la prueba estadística de raíz unitaria, cumplido con la estacionariedad; lo siguiente fue determinar los parámetros  $p$ ,  $q$ ,  $P$ ,  $Q$  que formarán parte el modelo.

En la etapa de estimación se realizó el análisis de los parámetros del modelo para determinar si son significativos, para ello se utilizó el estadístico  $z$  y su probabilidad obteniendo que los parámetros son significativos, para posteriormente construir la ecuación de pronósticos.

Dentro de la etapa de evaluación se procedió a determinar la adecuación y aleatoriedad del modelo SARIMA seleccionado  $(1, 1, 1) (1, 0, 1)$  [12], para lo cual se utilizó el análisis gráfico de los residuos del modelo y se aplicaron dos pruebas

estadísticas, la primera es el test de Kolmogórov – Smirnov que determina la normalidad de los residuos y la segunda es el test de Ljung-Box que verifica si los residuos generan un ruido blanco.

En la última, correspondiente a la predicción se validaron las proyecciones, dividiendo la serie de tiempo en dos grupos: testeo y entrenamiento; posteriormente se realizó el pronóstico para el periodo de abril 2021 a marzo del 2022 y finalmente con los resultados se estableció la propuesta sobre la gestión adecuada de los desechos hospitalarios.

Este trabajo investigativo está distribuido en cinco capítulos: en el capítulo I se da a conocer una breve introducción del trabajo, así como también los objetivos y su importancia; el capítulo II detalla el estado del arte demostrando los diversos conceptos que sirven como soporte para el desarrollo del presente trabajo; el capítulo III da a conocer las técnicas y la metodología seguida para la construcción del modelo matemático; el capítulo IV presenta los resultados, las discusiones y la propuesta planteada sobre la recolección de desechos sólidos hospitalarios mensualmente y el capítulo final describe las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo de este trabajo.

## **1.2. Justificación**

Los servicios de salud han aumentado considerablemente en las últimas décadas debido principalmente al crecimiento de la población, incrementándose el uso de productos médicos desechables, por lo que en la búsqueda de reducir los problemas ambientales y eliminar los riesgos potenciales para la salud humana se ha creado cierta normativa que ayuda a controlar la disposición final de estos desechos y obligan a las entidades municipales a realizar adecuadamente la recolección, transporte y disposición final de los desechos sanitarios.

Los desechos hospitalarios incluyen desechos infecciosos, residuos farmacéuticos y cortopunzantes, la mayoría de los cuales son tóxicos y dañinos; por tal razón, son recolectados de manera diferenciada y colocados para su disposición final en celdas de seguridad diseñadas para este tipo de desecho. Cabe recalcar que la gestión inadecuada de los residuos puede conducir a la contaminación ambiental (agua, aire, suelo, etc.), proliferación de insectos y roedores, y la transmisión de enfermedades

como la fiebre tifoidea, el cólera, el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) y la hepatitis (B y C).

Otro de los efectos ambientales que se puede evidenciar por el inadecuado manejo de los desechos hospitalarios es el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural, con la consecuente devaluación de los predios donde se localizan los rellenos sanitarios como de las áreas vecinas por el abandono y la acumulación de los mismos, siendo uno de los efectos fácilmente observados por la población; sin embargo, entre los efectos ambientales más serios están la contaminación del suelo, del aire y los cuerpos de agua, ocasionada por el vertimiento directo de los residuos.

El diseñar y desarrollar un modelo matemático prospectivo para estimar la generación de los desechos hospitalarios permitirá contar con una herramienta de proyección para determinar la capacidad de tratamiento que deben tener los procesos tecnológicos capaces de tratar los desechos sanitarios hasta su neutralización y de esta manera precautelar la salud de los trabajadores del Relleno Sanitario y prevenir la contaminación de los Recursos Naturales.

Es importante mencionar que el cantón Ambato cuenta con un Relleno Sanitario que actualmente no dispone de espacio donde se pueda seguir construyendo más celdas de seguridad para la disposición final de los desechos hospitalarios, esto debido a que no se realizó el pronóstico sobre la cantidad de residuos que se puede llegar a obtener en un periodo de 20 años, que es la vida útil aproximada de un Relleno Sanitario.

Para el desarrollo de esta investigación se propone realizar el análisis de series de tiempo basado en la metodología de Box-Jenkins, lo cual servirá de base para construir el modelo matemático para pronosticar los valores de su comportamiento a futuro, a partir de los cuales sea posible llevar a cabo una toma de decisiones sobre el diseño de los diferentes tratamientos que se pueden dar a este tipo de desechos. El análisis de series de tiempo se utiliza para detectar patrones de cambio o permanencia en la información estadística en intervalos o periodos regulares, proyectando estos patrones para obtener una estimación para el futuro; dicho análisis ayudará a manejar la incertidumbre asociada con los acontecimientos futuros bajo la modalidad de un método que ayude a predecir la generación de los desechos hospitalarios en un periodo de un año, siendo un aporte fundamental para poder detectar de manera óptima la

capacidad de los diferentes diseños para la disposición final de estos desechos y como superar este problema bajo el MODELO MATEMÁTICO PROSPECTIVO PARA LA GENERACIÓN DE DESECHOS HOSPITALARIOS. El mismo que además de brindar alternativas para mejorar los procesos que se proponen en los Rellenos Sanitarios, permita disminuir las pérdidas económicas por la adquisición de tecnologías o tratamientos que solamente duren periodos cortos de tiempo.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un modelo matemático prospectivo de la generación de desechos hospitalarios en el cantón Ambato.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- ❖ Recopilar el historial de los datos que reposan en la Empresa Pública Municipal para la Gestión de Desechos Sólidos de Ambato EPM-GIDSA, sobre las cantidades de desechos hospitalarios que son recogidos diariamente en el cantón Ambato.
- ❖ Determinar las variables que ayuden a estimar la generación prospectiva de los desechos hospitalarios en el cantón Ambato.
- ❖ Construir un modelo matemático que presente un buen ajuste de la información estadística recopilada.
- ❖ Proponer alternativas sobre la disposición final de los desechos hospitalarios en base al modelo construido.

## CAPÍTULO II

### ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

#### 2.1. Estado del Arte

López [1] en su trabajo investigativo “Desarrollo de un modelo predictivo para la estimación del comportamiento de variables en una infraestructura de red” usa los modelos autorregresivos integrados con promedios móviles ARIMA, con lo cual logra estimar el comportamiento futuro, identificando que mediante la aplicación de las series de tiempo en las redes interconectadas se pudo mejorar su rendimiento. El investigador concluye que con el uso de la metodología Box-Jenkins se pueden generar pronósticos de comportamiento en las redes de telecomunicaciones.

Villazón [2] en su trabajo titulado “Análisis en series de tiempo para el pronóstico de sequía en la región noroeste del estado de Chihuahua” aplica los modelos ARIMA con una estacionalidad de 9 años y redes neuronales artificiales con 50 neuronas y 24 retardos, representó la precipitación del año 2000 al 2012, con lo cual llegó a determinar un modelo de pronósticos sobre la sequía que afecta a la región de Chihuahua. El investigador concluyó que los modelos de redes neuronales no son tan precisos, pero por su parte los modelo ARIMA presentan comportamientos más estables para la predicción de las precipitaciones.

Ortega [3] en su obra titulada “Pronóstico de las defunciones en la república de Panamá utilizando la metodología ARIMA o Box - Jenkins para los años 2010 - 2013” aplica la metodología ARIMA o Box-Jenkins y llega a analizar la serie histórica de las defunciones en la República de Panamá desde 1952 al 2008. El investigador concluye que el modelo estadístico ARIMA permiten proyectar a corto plazo y con el mínimo error de predicción las defunciones que se pueden dar en la República de Panamá.

Sánchez [4] en su trabajo titulado “Aplicación de un Modelo ARIMA para pronosticar la producción de leche de bovino en baja California, México” emplea los modelos de series de tiempo univariado, en especial los modelos ARIMA y llega a describir, explicar y pronosticar el comportamiento de la producción lechera de bovino. El investigador estableció que el modelo ARIMA compuesto por 1 autorregresivo, 0 diferencias y 1 media móvil (1, 0, 1) es el mejor modelo debido a que mantiene

proyecciones más estables sobre la producción mensual de litros leche de enero del 2000 a diciembre del 2009.

Hernández [5] en el documento titulado “Modelos ARIMA y estructural de la serie de precios promedio de los contratos en el mercado mayorista de energía eléctrica en Colombia” utiliza las técnicas de series de tiempo en especial los modelos basados en la metodología de Box-Jenkins y llegó a desarrollar un modelo que presenta una componente estacional asociada a los ciclos de invierno-verano propios de la hidrología. El investigador establece que los modelos ARIMA presentan condiciones estables para las predicciones y son los adecuados para describir y explicar el precio de la energía eléctrica en Colombia.

Amaris [6] en su trabajo titulado “Aplicación de modelo ARIMA para el análisis de series de volúmenes anuales en el río Magdalena” emplea la metodología de Box-Jenkins y logró estimar un modelo ARIMA para el análisis de las series de tiempo usando los registros sobre los volúmenes anuales (millones de m<sup>3</sup>/año) de agua del río Magdalena de la estación Calamar (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia Ideam), con lo cual el pronóstico del volumen máximo del río Magdalena para los años 2013 a 2024 oscila entre 289695 y 309847 millones de m<sup>3</sup> de agua y el volumen mínimo para el mismo periodo oscila entre 179123 y 157764 millones de m<sup>3</sup> de agua, con una tendencia de decrecimiento de 106 millones de m<sup>3</sup> en 100 años. Con los resultados alcanzados, el investigador concluye que los modelos ARIMA no simulan el comportamiento exacto en el tiempo; sin embargo, son una buena herramienta para aproximar eventos mínimos y máximos

Miranda [7] en la obra titulada “Pronóstico de la tendencia nacional y regional de las enfermedades diarreicas agudas en menores de cinco años de edad en el Perú mediante un modelo ARIMA con el enfoque Box-Jenkins” utiliza los modelos ARIMA basados en la metodología de Box-Jenkins, con lo cual llega a analizar el número de casos reportados semanalmente de las enfermedades diarreicas agudas (EDA) para el grupo de 0 a 4 años de edad en establecimientos de salud del Ministerio de Salud (MINSA) para el año 2010 de las 25 regiones del Perú. El investigador concluyó que el modelo ARIMA seleccionado presenta una tendencia ascendente y es el adecuado para realizar las proyecciones para los meses de febrero a julio del 2010.

Aldaz, García & Quiñonez [8] en el trabajo titulado “Parvovirus canina en la provincia Bolívar, Ecuador. Utilidad de los modelos Box-Jenkins para su análisis y predicción” utilizan la metodología de Box-Jenkins, determinando el modelo ARIMA, para evaluar la mortalidad, así como la prevalencia de la parvovirus canina, utilizando datos retrospectivos obtenidos en el hospital veterinario “Caninos y Felinos” de la ciudad de Guaranda. Los investigadores concluyeron que la prevalencia de la enfermedad y la mortalidad causada por la parvovirus canina tienen un patrón estacional, con lo cual pueden modelarse y pronosticarse con elevada precisión mediante modelos Box-Jenkins.

Gisele [9] en el documento titulado “Utilización de modelos ARIMA para la vigilancia de enfermedades transmisibles” emplea la metodología propuesta por Box y Jenkins en 1976, con lo cual logra modelar adecuadamente el comportamiento de los eventos de salud y para la obtención de pronósticos del comportamiento esperado de las atenciones médicas semanales por enfermedades diarreicas agudas y por infecciones respiratorias agudas en Cuba durante los años 1998 a 2004. El investigador concluyó que los modelos ARIMA tienen buena estabilidad y resultan adecuados para el pronóstico de estos eventos, los cuales permitirían a las autoridades sanitarias estar preparadas ante cualquier eventualidad.

Parisi, Rivas & Trujillo [10] en su trabajo titulado “Predicción de variaciones en el precio del petróleo con el modelo de optimización ARIMA, innovando con fuerza bruta operacional” utilizan la metodología de Box-Jenkins estableciendo un modelo SARIMA que predice el comportamiento de los precios del petróleo y de las acciones de empresas petroleras que transan en el New York Stock Exchange (NYSE), a partir de una muestra de precios de cierre semanales para el petróleo, obtenidos de la base de datos de precios históricos del portal web es.investing.com., y las acciones de las empresas Exxon Mobil, Gazprom y Rosneft Oil Company correspondiente al periodo del 4 de febrero de 2011 al 4 de febrero del 2016. Los investigadores concluyeron que es factible construir un modelo predictivo con una capacidad de predicción superior al 60%, tanto para el caso del petróleo como para las acciones de empresas petroleras.

Del Pozo, Fernández & Zamora [11] en la documentación titulada “El papel de las Series Temporales y los Modelos Autorregresivos (ARIMA) para la vigilancia sindrómica en la Sanidad Agropecuaria” emplean los modelos ARIMA basados en la

metodología de Box-Jenkins determinado un modelo para la detección de señales anormales y determinar el momento óptimo para activar una alarma en los sistemas de vigilancia. Los investigadores establecieron que mediante los criterios y valoraciones realizadas se evidencian que estos procedimientos estadísticos constituyen herramientas útiles en investigaciones agrarias, en particular en las ciencias veterinarias asociadas a la detección de señales anormales y en la determinación del momento óptimo para activar una alarma en los sistemas de vigilancia de la producción agropecuaria.

Aguilar & Martín [12] en el trabajo titulado “Perspectivas de inflación en Bolivia” emplean los modelos autorregresivos integrados de medias móviles ARIMA y llegaron a determinar un modelo de pronósticos mediante datos históricos del Fondo Monetario Internacional FMI, en el cual se explica la tasa de inflación en Bolivia ante shocks de un incremento en el nivel de precios de los hidrocarburos durante los años 2010 al 2012. Los investigadores concluyeron que los modelos ARIMA ayudan a describir la valoración de la evolución de la inflación en la que se observó que el crecimiento de la inflación a marzo de 2010 fue de 0.90%, y que la misma expectativa se mantuvo estable para 2011 y 2012 con valores de 0.88% y 0.89%, respectivamente.

Broz & Niego [13] en el trabajo titulado “Predicción de precios de productos de Pinus spp., con modelos ARIMA” utilizan la metodología de Box-Jenkins y logran predecir los precios de cuatro productos de Pinus spp para el noreste argentino utilizando datos históricos de precios correspondientes al periodo julio 2002-septiembre 2013. Los investigadores concluyeron que con el modelo construido se comparan los datos históricos y se verifica que el modelo es adecuado si los residuos siguen un proceso de ruido blanco y una predicción de precios futuros con errores de 0,9% y 1,8%.

Gallego, Rodríguez, Mínguez & Jiménez [14] en la obra titulada “Modelos ARIMA para la predicción del gasto conjunto de oxígeno y otros gases de uso aeronáutico” utilizan la metodología de Box-Jenkins determinando un modelo que ayuda a pronosticar el gasto de oxígeno necesario en un vuelo. Los autores de la investigación determinaron que el modelo ARIMA se conforma de: 3 autorregresivos, 1 diferencia y 0 medias móviles, cumpliendo con todas las pruebas de bondad y es el adecuado para establecer las proyecciones sobre el gasto conjunto de oxígeno y otros gases.

Maldonado [15] en la obra titulada “Diseño de un modelo matemático estocástico para analizar la información hídrica y predecir las inundaciones” emplea los modelos que utilizan la metodología de Box-Jenkins y elabora una herramienta informática que analiza el comportamiento histórico de los caudales del río Uchima. El investigador concluyó que el modelo que explica y predice satisfactoriamente el caudal del río Uchima es el ARIMA compuesto de 9 autorregresivos, 9 medias móviles y 0 diferencias, ARIMA (9, 0, 9).

Angulo [16] en su trabajo investigativo “Modelo ARIMA para el pronóstico de la liquidez monetaria mensual en el sistema financiero peruano” utiliza las etapas de la metodología de Box-Jenkins con un modelo ARIMA que detalla y pronostica el comportamiento mensual de la liquidez monetaria en el sistema financiero de Perú. El investigador estableció que el modelo que se ajusta de manera adecuada a la serie histórica de la liquidez monetaria en el sistema financiero es el ARIMA formado por 3 autorregresivos, 12 medias móviles y 1 diferencia, ARIMA (3, 1, 12).

Vázquez [17] en su trabajo titulado “Modelo de Box y Jenkins y redes neuronales para pronosticar el precio del dólar del sistema bancario en moneda nacional año 2015” utiliza las etapas de la metodología de Box-Jenkins y las redes neuronales con lo cual llega a determinar dos modelos matemáticos que pronostican en el sistema bancario el precio del dólar con respecto a la moneda nacional del Perú. El investigador aplicó el modelo ARIMA que explica y predice la compra compuesto de 2 autorregresivos, 3 medias móviles y 2 diferencias (2, 2, 3) y el modelo para la venta conformado de 3 autorregresivos, 12 medias móviles y 1 diferencia, ARIMA (3, 1, 2). Y en el caso de la metodología con redes neuronales artificiales de la compra y venta en moneda nacional de enero a diciembre para el año 2015 con 12 covariables, el modelo obtenido es de (12:1:5:1) con RMSE 0. y para la venta con un modelo (12:1:6:1) RMSE 0.038. El investigador concluyó que mediante redes neuronales artificiales y la metodología de Box y Jenkins se ha estimado cuatro modelos, y al comparar sus errores de estos modelos se llega a la conclusión que el modelo de Box y Jenkins es más factible, ya que tiene un menor error absoluto (MAE) para el modelo ARIMA (2,2,3) compra y para el modelo ARIMA (3,1,2) venta es de 0.008.

Sánchez [18] en su documento titulado “Modelo ARIMA para el pronóstico de la producción de cacao en el Perú” aplica las etapas de la metodología propuesta por Box-

Jenkins y determina un modelo predictivo mediante el comportamiento de los datos históricos de la producción mensual de cacao. El autor de la investigación concluyó que el modelo matemático SARIMA pronostica eficientemente la producción mensual del cacao, conformado por 7 autorregresivos estacionarios, 7 medias móviles estacionarias, 1 diferencia estacionaria, 1 autorregresivo estacional, 0 medias móviles estacionales, 1 diferencia estacional y 12 como periodo de estacionalidad, SARIMA (7, 1, 7) (1, 1, 0) [12].

Quispe [19] en su obra titulada “Modelo univariante para el consumo de energía eléctrica doméstica en el Distrito de Ayaviri – Electro Puno, periodo 2004- 2013” emplea las etapas de la metodología de Box-Jenkins y con los datos históricos obtiene un modelo univariante que permite describir y predecir el consumo de energía eléctrica de la ciudad de Puno. El investigador estableció que el modelo que cumple con las pruebas de adecuacidad, de aleatoriedad y mantiene proyecciones estables es el SARIMA compuesto de 3 autorregresivos estacionarios, 1 media móvil estacionaria, 1 diferencia estacionaria, 1 autorregresivo estacional, 1 media móvil estacional, 0 diferencias estacionales y 12 como periodo de estacionalidad, SARIMA (3, 1, 1) (1, 0, 1) [12].

Sánchez [20] en su documento titulado “Modelo matemático de la producción de la empresa salinerito en la provincia Bolívar” estableció un modelo matemático utilizando las series de tiempo donde empleó las fases de la metodología de Box-Jenkins, mismo que permitió establecer la producción mensual de la empresa Confites el Salinerito. El investigador concluyó que el modelo que explica y predice satisfactoriamente a la lista de valores históricos de la empresa es el SARIMA compuesto por 1 autorregresivo en la parte estacionaria y estacional, 1 media móvil estacionaria como estacional, 1 diferencia estacionaria como estacional y 12 como periodo de estacionalidad, SARIMA (1, 1, 1) (1, 1, 1) [12].

## **2.2. Información general**

### **2.2.1. Definiciones conceptuales**

#### **Desechos Sólidos:**

El concepto de desecho sólido es el que se aplica a todo tipo de residuo o desecho que genera el ser humano y que tienen forma o estado sólido a diferencia de los desechos

líquidos o gaseosos. Además, los desechos sólidos son también los que ocupan mayor espacio al no degradarse y permanecer muchos de ellos por años e incluso siglos en el suelo.

### **Clasificación de los desechos**

Los desechos pueden clasificarse de la siguiente manera:

**Desechos Comunes:** Son aquellos que no representan un riesgo adicional para la salud humana, animal o el ambiente y que no requieren de un manejo especial. Ejemplo: papel, cartón, plástico, desechos de alimentos, procedimientos médicos no contaminantes como yesos, vendas, etc. Constituyen el 80% de los desechos.

**Desechos Hospitalarios:** Los residuos hospitalarios pueden producir contaminación y enfermedades si no se los maneja adecuadamente. De acuerdo con las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la carga global de las enfermedades por exposición ocupacional entre el personal de la salud corresponde en un 40% a las infecciones por hepatitis B y un 2,5% a las infecciones por VIH.

**Desechos Especiales:** Generados en los servicios auxiliares de diagnóstico y tratamiento, que por sus características físico-químicas, representan un riesgo o peligro potencial para los seres humanos, animales o ambiente. En esta categoría se incluyen los siguientes residuos: cultivos y muestras almacenadas, los residuos patológicos, la sangre y productos derivados y los reactivos.

#### **2.2.1.1. Desechos generados en un hospital.**

Las diferentes áreas de servicio a pacientes y los laboratorios generan desechos de alta peligrosidad, tanto infecciosos, químicos y radioactivos. Los servicios de apoyo, por su parte, producen desechos comunes, aunque algunos de ellos también generan desechos infecciosos y químicos. En la siguiente tabla se presenta un listado de los desechos sólidos generados en un hospital [21].

**Tabla 1.** Desechos hospitalarios

<b>Fuente</b>	<b>Residuos Comunes</b>	<b>Residuos Infecciosos</b>	<b>Residuos Químicos</b>	<b>Residuos Radioactivos</b>
Medicina	X	X	X	x
Cirugía	X	X	X	x
Quirófano	X	X	X	x
Terapia intensiva	X	X	X	x
Aislamiento de contagio	X	X	X	x
Diálisis	X	X	X	x
Emergencia	X	X	X	x
Consulta Externa	X	X	X	x
Autopsias	X	X	X	x
Radiología	X	X	X	x
Bioquímica	X	X	X	x
Microbiología	X	X	X	x
Hematología	X	X	X	x
Investigación	X	X	X	x
Patología	X	X	X	x
Banco de sangre	X	X	X	x
Farmacia	X		X	x
Central de equipo estéril	X		X	x
Lavandería	X		X	x
Cocina	X			x
Administración	X			x
Áreas Públicas	X			x

**Fuente:** Organización Mundial de la Salud-OMS, 2005

### 2.2.1.2. Clasificación de los desechos hospitalarios

Según la ordenanza que regula el Manejo Integral de los Residuos Sólidos del Cantón Ambato, en su artículo 5, en el glosario de términos ambientales, por “Separación en la Fuente”, se entiende “(...) Separación en la Fuente. - Es la clasificación de los residuos sólidos en el sitio en donde se generan, que tiene como objetivo separar los residuos que tienen un valor de uso indirecto por su potencial de reutilización de

aquellos que no lo tienen, mejorando así sus posibilidades de recuperación.”. Por otra parte, estipula en el Art. 29, literal d) “Recolección de desechos hospitalarios. – Para los residuos sólidos que deben ser recolectados por la EPM-GIDSA, estrictamente de manera diferenciada; quedando terminantemente prohibido que los prestadores de limpieza de residuos comunes, así como los recicladores de base calificados o no, puedan recolectar este tipo de residuos.” [22]

Entre los desechos sanitarios que se recolecta y se da disposición final en el Relleno Sanitario son los siguientes:

**Contaminados:** son los desechos que contienen sangre u otros fluidos corporales (por ejemplo, a partir de muestras de diagnóstico desechadas), cultivos o cepas de agentes infecciosos procedentes de actividades de laboratorio o desechos relacionados con pacientes ingresados en salas de aislamiento y equipo conexo (por ejemplo, hisopos, vendajes e instrumental médico desechable).

**Cortopunzantes:** Aquellos que han sido utilizados en el cuidado de seres humanos o animales, en la investigación o en laboratorios farmacológicos, tales como hojas de bisturí, hojas de afeitar, agujas de sutura, lancetas, pipetas y otros objetos de vidrio que se han roto.

**Especiales:** Son aquellos residuos que contienen o pueden contener agentes patógenos en concentraciones o cantidades suficientes para causar enfermedad a un huésped susceptible [22].

### **2.2.1.3. Características de los recipientes para los desechos hospitalarios**

Los desechos, luego de su clasificación, se deben colocar en recipientes específicos para cada tipo, los mismos que deberán ser identificados fácilmente por el color y rotulación tanto por el personal que pertenece al hospital, clínicas, consultorios, etc. como por los pacientes y visitantes que transitan dentro de las instalaciones del generador; tales recipientes deberán estar ubicados en lugares en los que se genere el mayor volumen de éstos, para evitar su movilización excesiva y reducir en lo posible la dispersión de gérmenes, virus y bacterias [21].

Los establecimientos generadores de desechos hospitalarios para su recolección, deben cumplir con los requerimientos básicos exigidos por la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato EPM GIDSA, siendo estos:

- ❖ Herméticos, para evitar malos olores y presencia de insectos.
- ❖ Resistentes a elementos cortopunzantes, a la torsión, a los golpes y a la oxidación.
- ❖ Impermeables, para evitar la contaminación por humedad desde y hacia el exterior.
- ❖ De tamaño adecuado, para su fácil transporte y manejo.
- ❖ De superficies lisas, para facilitar su limpieza.
- ❖ Claramente identificados con los colores establecidos, para que se haga un correcto uso de ellos. [21]

#### **2.2.1.4. Recolección, transporte y disposición final de desechos hospitalarios**

##### **Recolección**

La recolección de desechos hospitalarios se encuentra a cargo de la EPM GIDSA en todo el cantón Ambato; esta recolección se realiza en todos los establecimientos de salud, consultorios, laboratorios, clínicas, estéticas, etc. que lo solicitan y la EPM GIDSA, a través de una inspección, verifica la generación de los tipos de desechos hospitalarios para otorgar la autorización de que sean recolectados.

La recolección se realiza por parte del personal operativo de la EPM GIDSA de forma diferenciada y mediante un camión refrigerado, según lo establecido por la autoridad ambiental competente. El personal encargado de la recolección lleva un control diario del volumen recolectado, y se distinguen tres tipos de desechos: Los contaminados, los cortopunzantes y los especiales.

##### **Transporte**

El ingreso al relleno cuenta con una estación de pesaje mediante una báscula. El camión de los desechos hospitalarios debe pasar sobre esta báscula, para determinar los pesos que ingresan diariamente al relleno sanitario.

## **Disposición Final**

Luego del pesaje el camión se dirige hasta la celda de seguridad y los desechos son depositados para luego ser esparcidos con cal y posteriormente ser tapados con material de recubrimiento (tierra). El ingreso diario de los desechos hospitalarios en el Relleno Sanitario es de 800 kg aproximadamente.

El manejo de los desechos hospitalarios de los establecimientos de salud y sus derivados se encuentran regularizados mediante el “Reglamento de gestión de desechos generados en establecimientos de salud”, en el cual se establece en su Art. 6 lo siguiente “Para la clasificación y acondicionamiento en la fuente se utilizarán recipientes y fundas que cumplan con las especificaciones de la normativa sanitaria emitida para el efecto. Los desechos comunes se dispondrán en recipientes y fundas plásticas de color negro, los desechos biológico-infecciosos y anatomopatológicos serán dispuestos en recipientes y fundas de color rojo. Los desechos corto-punzantes que no hayan sido inactivados con algún tipo de tecnología física para el efecto, se colocarán en recipientes rígidos a prueba de perforaciones; aquellos que hayan sido inactivados por dicha tecnología serán considerados desechos comunes, y en caso de mantener características corto-punzantes, de igual manera se almacenarán en los recipientes antes descritos. Los desechos farmacéuticos se acopiarán en cajas de cartón o recipientes plásticos etiquetados y los desechos de medicamentos citotóxicos en recipientes plásticos, de cierre hermético a prueba de perforaciones y debidamente etiquetados. La incineración se encuentra prohibida dentro de los establecimientos descritos en el ámbito de este instrumento” [23].

### **2.3. Marco teórico**

#### **2.3.1. Conceptos básicos**

##### **Modelos matemáticos**

Un modelo matemático es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables [24].

En el trabajo de Ogata se manifiesta que los modelos matemáticos pueden variar en cuanto a su complejidad, pero todos ellos tienen un conjunto de características básicas [24]:

**Variabes:** Son los conceptos u objetos que se busca entender o analizar su relación con otras variables. Así, por ejemplo, una variable puede ser el crecimiento poblacional y lo que queremos analizar son sus principales determinantes (por ejemplo: enfermedades registradas, número de hospitales, etc.).

**Parámetros:** Se trata de valores desconocidos y son estimados a partir de los datos controlables del modelo, si estos parámetros son significativos serán utilizados para formar la ecuación de pronósticos.

**Restricciones:** Son determinados límites que nos indican que los resultados del análisis son razonables. Así, por ejemplo, si una de las variables es el número de establecimientos de salud, una restricción natural es que este valor no puede ser negativo.

**Relaciones entre las variables:** El modelo establece una determinada relación entre las variables apoyándose en teorías económicas, físicas, químicas, etc.

**Representaciones simplificadas:** Una de las características esenciales de un modelo matemático es la representación de las relaciones entre las variables estudiadas a través de elementos de las matemáticas tales como: funciones, ecuaciones, fórmulas.

### **Series de tiempo**

Una serie de tiempo es una secuencia de observaciones sobre una variable de interés, presentada u ordenada cronológicamente, tales periodos pueden ser días, meses, trimestres y años [25].

En la obra de Gujarati se considera que las series de tiempo deben tener las siguientes condiciones [25]:

- ❖ Los datos deben ser tomados en intervalos regulares del tiempo, por ejemplo: horas, días, semanas, meses o años, etc.

- ❖ La variable de interés o dependiente no debe sufrir cambios en su estructura en el lapso considerado, por ejemplo, series sobre el valor de la moneda deben estar referidas al mismo año base, etc.
- ❖ En la serie de tiempo deben existir patrones de comportamiento, que auxilien al investigador en el descubrimiento de su estructura interna, para luego lograr predecirlos.

En una serie de tiempo frecuentemente se examinan los patrones históricos los cuales son útiles para realizar las predicciones. Todas las series de tiempo están conformadas por los siguientes componentes [26]:

**Tendencia:** La tendencia de serie de tiempo es cuando en largos periodos los valores crecen o decrecen, es decir existe cambios en su media.

**Ciclos:** Son los movimientos que realiza la serie de tiempo. Éstos pueden ser hacia arriba y hacia abajo. Estas fluctuaciones, medidas de pico a pico, pueden tener una duración larga.

**Estacionalidad:** Son patrones periódicos que ocurren y se repiten cada determinado tiempo, dichos patrones pueden ser causados por factores como el clima y las costumbres.

**Irregular o aleatoria:** Son movimientos erráticos que no siguen un patrón regular. Es decir, no tiene patrones sistemáticos y su comportamiento es impredecible cuando la media tiende a ser cero, con una dispersión constante y se le conoce como proceso de ruido blanco.

**Estacionariedad:** Se dice que una serie de tiempo es estacionaria si su media y su varianza permanecen constantes a través del tiempo.

**Ruido blanco:** Se define como ruido blanco a una perturbación aleatoria, en el que se identifica cuando sus valores de señal en dos tiempos diferentes no guardan correlación estadística, es decir tiene una dispersión constante.

### 2.3.1.1. Métodos de predicción.

En la publicación de Gujarati los métodos de predicción utilizados en las series de tiempo pueden ser [25]:

- ❖ Métodos de pronóstico y suavizamiento simple: Son aquellos métodos que utilizan los patrones existentes como la tendencia, la estacionalidad y los ciclos de la serie. Estos métodos utilizan el suavizamiento exponencial.
- ❖ Métodos de análisis de correlaciones y modelo ARIMA (promedio móvil integrado autorregresivo): Son aquellos métodos que utilizan los patrones subyacentes en la serie, para lo cual utilizan funciones de diferenciación, autocorrelación simple y autocorrelación parcial. Estos métodos son más precisos a la hora de realizar una predicción.
- ❖ Método de redes neuronales: son métodos que usan las técnicas de aprendizaje automático (machine learning), que refieren a sistemas que aprenden automáticamente. Es decir, que identifican patrones complejos entre los datos y en función de ello son capaces de predecir el comportamiento futuro.

#### 2.3.1.2. Modelos ARIMA

Los modelos ARIMA o también conocidos como modelos de promedio móvil autorregresivo integrado son aquellos modelos que se desarrollan según la metodología de Box-Jenkins y son utilizados en las series de tiempo estacionarias. En la década de los 70s en la publicación de G.P.E Box y G.M Jenkins “Times Series Análisis Forecasting and Control”, se crearon un conjunto de herramientas de predicción, cuyo procedimiento se llamó metodología Box-Jenkins, conocida también como metodología ARIMA. Esta metodología permite al analista identificar, estimar y seleccionar un modelo estadístico que mejor se ajuste a los datos estudiados [27].

Los modelos desarrollados bajo la metodología de Box-Jenkins pueden clasificarse en modelos con dependencia regular o ARIMA y modelos con dependencia estacional o SARIMA.

Modelos con dependencia estacional o SARIMA: Son aquellos modelos que utilizan el componente estacionario y estacional de una serie de tiempo, la estructura de estos modelos es [20]:

$$\text{SARIMA } (p, d, q)(P, D, Q)_m \quad (1)$$

Donde:

p: número de autorregresivos en la parte estacionaria (AR)

d: diferencias en la parte estacionaria ( $\lambda$ )

q: número de medias móviles en la parte estacionaria (MA)

P: número de autorregresivos en la parte estacional (SAR)

D: diferencias en la parte estacional ( $\lambda$ )

Q: número de medias móviles en la parte estacional (SMA)

m: es el periodo de estacionalidad

Según Sánchez en su trabajo menciona que la ecuación de pronósticos de un modelo SARIMA es [20]:

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \Phi_1 Y_{t-s} + \dots + \Phi_p Y_{t-ps} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} - \dots - \Theta_1 \varepsilon_{t-s} - \dots - \Theta_q \varepsilon_{t-qs} + \varepsilon_t \quad (2)$$

donde:

$Y_t$ : es la variable a ser pronosticada,

$\varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p}$ : componente estacionario en autorregresivos AR (p),

$\Phi_1 Y_{t-s} + \dots + \Phi_p Y_{t-ps}$ : componente estacional en autorregresivos SAR (P),

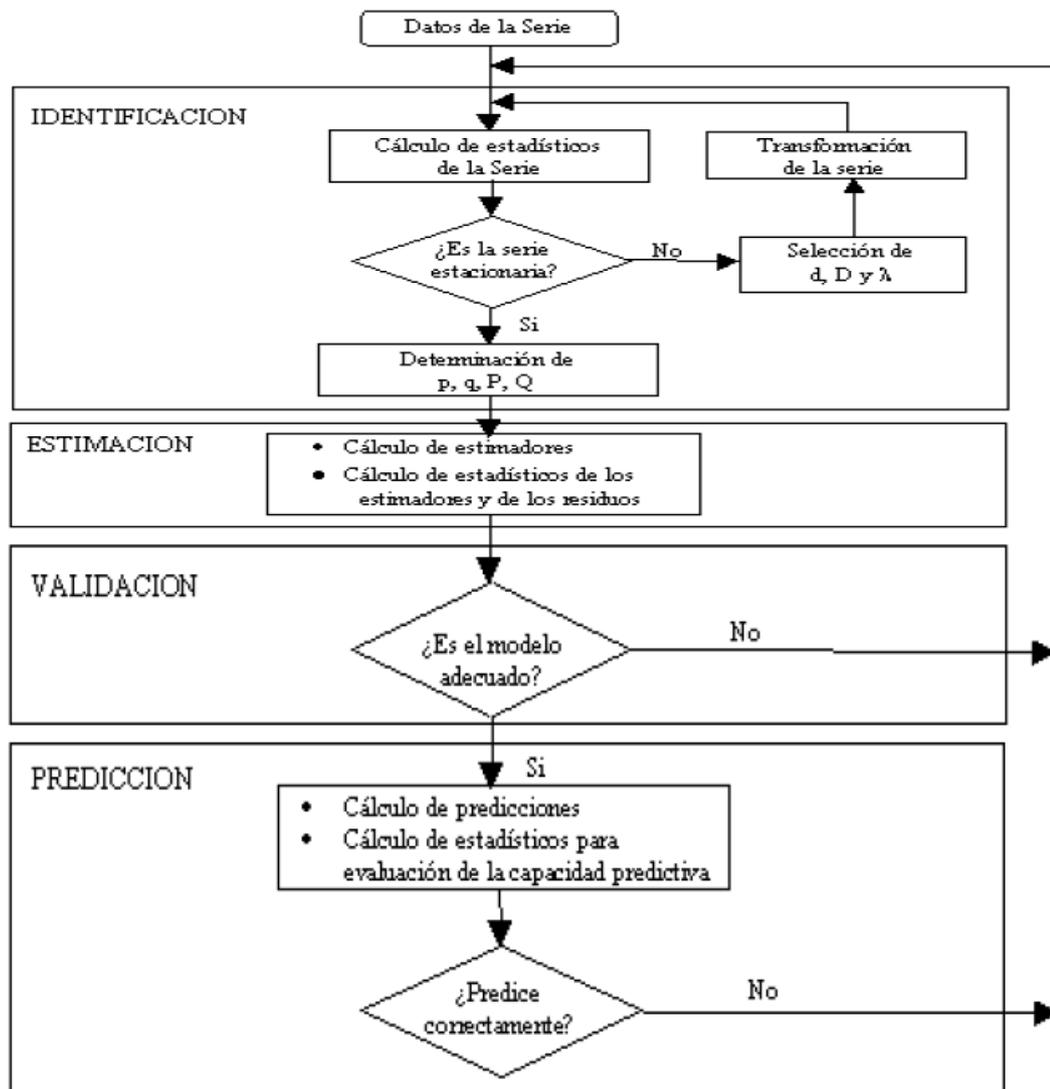
$\theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$ : componente estacionario en medias móviles MA (q),

$\Theta_1 \varepsilon_{t-s} - \dots - \Theta_q \varepsilon_{t-qs}$ : componente estacional en medias móviles SMA (Q) y

$\varphi_1, \dots, \varphi_p, \Phi_1, \dots, \Phi_p, \theta_1, \dots, \theta_q, \Theta_1, \dots, \Theta_q$ : son los parámetros del modelo.

### 2.3.1.3. Estrategia de modelización de un SARIMA

Las etapas que se debe seguir para construir un modelo SARIMA según la metodología de Box-Jenkins, con fines predictivos, son las siguientes:



**Figura 1.** Etapas de la metodología de Box-Jenkins

**Fuente:** Gujarati & Porter. 2009. Pag. 778

### **Etapa de identificación.**

Esta etapa cuenta con dos características: la primera es determinar si la serie de tiempo es estacionaria y la segunda consiste en seleccionar los parámetros  $(p, q)$   $(P, Q)$  que debe contener el modelo SARIMA.

Para determinar la estacionariedad de una serie de tiempo se utiliza el análisis gráfico de los componentes de la serie de tiempo (tendencia, estacionalidad, estacionariedad) y el test de Dickey Fuller que ayuda a verificar la existencia de una raíz unitaria en la serie de tiempo, para ello se utiliza un nivel de significancia de  $\alpha = 5\%$  con lo cual se busca probar la hipótesis  $H_0$ : La serie de tiempo es estacionaria si  $\alpha \geq 0.05$  [17].

Si la serie de tiempo no es estacionaria se puede convertir mediante el método de diferenciación teniendo en cuenta que el número máximo de diferencias recomendadas en series temporales es de 2.

Para seleccionar los parámetros que deben formar el modelo se utiliza los correlogramas de las funciones de autocorrelación simple y parcial. Con la función de autocorrelación simple (ACF) se mide la relación estadística entre las observaciones de la serie temporal con la finalidad de identificar el modelo, con esta función se determina el parámetro de orden  $q$ ; es decir, el número de medias móviles (MA). Mientras con la función de autocorrelación parcial (PACF) se mide la correlación entre las observaciones que están separadas en  $k$  periodos, mediante esta función se determina el número de autorregresores; es decir, el parámetro de orden  $p$  (AR) [16]

### **Etapa de estimación.**

Una vez determinados los parámetros del modelo SARIMA, la siguiente etapa es estimarlos, para ello se utiliza el método de máxima verosimilitud que consiste en maximizar la probabilidad de los parámetros de las funciones de densidad que dependen de su distribución y los datos de la muestra [28].

Mediante esta etapa se selecciona un modelo, para lo cual se observa el valor del error cuadrático medio (ECM) y el valor numérico del criterio de información AKAIKE (AIC), a partir de estos criterios de selección se seleccionará el modelo que tenga el menor valor de ECM y AIC

### **Etapa de evaluación**

Con el modelo escogido, lo siguiente es evaluar su adecuación; y comprobar que los residuos del modelo se distribuyan normalmente y que su comportamiento sea como un ruido blanco.

Para comprobar que los residuos sigan una distribución normal se utiliza la prueba de Kolmogórov–Smirnov, la cual permite medir el grado de concordancia existente entre la distribución de un conjunto de datos. Esta prueba es utilizada cuando se trabaja con 50 datos en adelante y emplea un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  con el objetivo de comprobar la hipótesis nula o alternativa [29].

Ho: Los residuos se distribuyen normalmente                      si el p valor  $\geq \alpha$

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente si el p valor  $< \alpha$

Mientras el test de Ljung-Box busca verificar la eficacia de ajuste de un modelo de series de tiempo. Al no encontrarse en los residuos del modelo una autocorrelación significativa, se dice que estos tienden a comportarse como un ruido blanco. Este estadístico utiliza un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  para probar su contraste de hipótesis [20].

Ho: Existe ruido blanco si el p valor  $\geq \alpha$

Ha: No existe ruido blanco si el p valor  $< \alpha$

### **Etapa de predicción**

Una vez que se ha realizado la evaluación del modelo lo siguiente es realizar las proyecciones, las cuales suelen ser satisfactorias cuando se estima para el corto o mediano plazo [25].

Para realizar las predicciones es necesario usar el ordenador y el código informático según el software donde se las realizó y se debe indicar el número de previsiones que se desea obtener y el periodo que se quiere calcular.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Ubicación

El Relleno Sanitario de Ambato, opera desde julio de 2004, una vez que se cambió de técnica de disposición final, de botadero a confinamiento controlado de desechos sólidos, donde se canalizan los lixiviados al sistema de tratamiento instalado, se desfogan los gases mediante chimeneas, y se lleva un control de ingreso de desechos. La regularización ambiental del Relleno Sanitario de Ambato comienza en septiembre de 2007 mediante una Auditoría Ambiental Inicial desarrollada por el Ing. Gabriel Moncayo de la empresa Aqualimpia, donde se detalla que el relleno consta de 18 ha una producción diaria de 210 t.

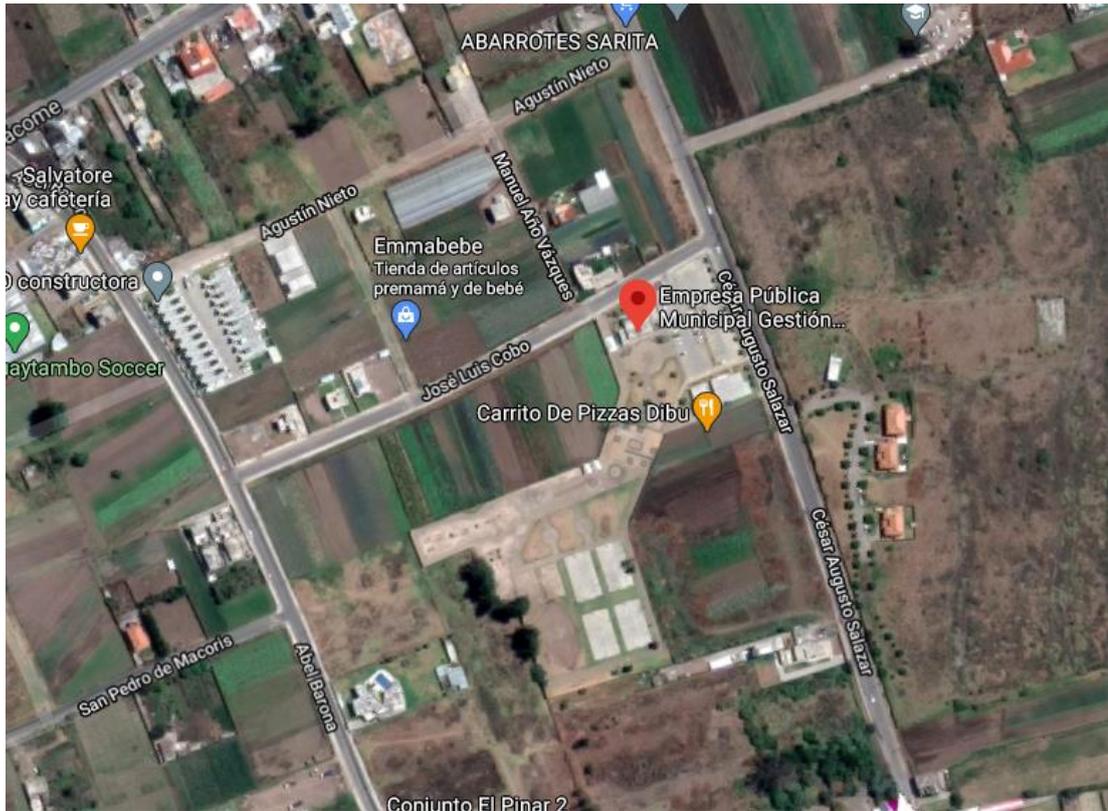
El 06 de noviembre de 2009 mediante resolución 360 el Ministerio de Ambiente aprueba el Estudio de Impacto Ambiental Expost del proyecto Relleno Sanitario de la ciudad de Ambato, sobre la base del oficio 08795-08-EIA-DPCC-SCA-MAE del 06 de noviembre de 2008 y el Informe Técnico 168-DCC-SCA-MA del 5 de noviembre de 2008, otorgándose la Licencia Ambiental al ilustre Municipio de Ambato para la ejecución del proyecto Relleno Sanitario de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, en la cual incluye las celdas de seguridad de los desechos hospitalarios.

En agosto de 2011 el GADMA crea mediante ordenanza la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (EPM GIDSA), entidad que a partir de enero del 2012 inicia sus labores con la administración del Relleno Sanitario de Ambato entre sus demás funciones.

#### **Descripción de actividades en el relleno sanitario.**

#### **Ubicación del relleno sanitario.**

El Relleno Sanitario de Ambato administrado por la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos del cantón Ambato (EPM GIDSA), está ubicado en la vía Píllaro, parroquia Izamba, cantón Ambato, provincia de Tungurahua.



**Figura 2.** Ubicación de la empresa EPM GIDSA

**Fuente:** Empresa Pública Municipal de Desechos Sólidos de Ambato

El relleno sanitario recibe directamente los residuos generados diariamente en las viviendas, los rechazos y/o residuos de los mercados, industrias, desechos hospitalarios y en general todos los desechos que se generan en el cantón Ambato. El relleno sanitario cuenta con las siguientes unidades operativas:

- ❖ Control de ingreso y pesaje
- ❖ Recepción y disposición de residuos sólidos en plataformas
- ❖ Celdas de seguridad para desechos hospitalarios
- ❖ Drenajes para la captación de lixiviados
- ❖ Chimeneas para la conducción y quema de biogás
- ❖ Área de libre aprovechamiento
- ❖ Tratamiento de lixiviados
- ❖ Actividades de mantenimiento y control del predio

- ❖ Gestión de desechos hospitalarios

### **Recolección de desechos Sanitarios**

La recolección de desechos hospitalarios se realiza de forma diferenciada, mediante un camión refrigerado, según lo establecido por la autoridad ambiental competente. El personal encargado de la recolección lleva un control diario del volumen recolectado, y se distinguen tres tipos de desechos:

- ❖ Contaminados
- ❖ Cortopunzantes
- ❖ Especiales

Los desechos hospitalarios recolectados son dispuestos en un área específica para ellos. Para el efecto, el relleno sanitario cuenta con 4 celdas de seguridad; de las cuales tres de ellas se encuentran cerradas y una está en operación a la fecha. El método de confinamiento es de trinchera, posee geomembrana y se disponen las bolsas hasta una altura de 60 cm para luego ser cubiertos con una pequeña capa de cal y posteriormente cubrirlos con 15 cm de tierra.



**Figura 3.** Desechos sólidos hospitalarios

**Fuente:** Empresa Pública Municipal de Desechos Sólidos de Ambato

La celda para desechos hospitalarios se encuentra cubierta con geomembrana lisa negra HDPE. Diariamente se reciben aproximadamente 800kg de desechos hospitalarios, los que son cubiertos con una capa de cal y material de cobertura extraído de la zona, para su posterior compactación.

### **3.2. Equipos y materiales**

En la presente investigación la principal fuente de información fue la serie histórica de la recolección de desechos sólidos hospitalarios de la ciudad de Ambato. Esta lista se obtuvo directamente del sistema SIPECA de la empresa pública municipal para la gestión integral de desechos sólidos de Ambato (EPM GIDSA). Con los datos recolectados se generó la base de datos, la misma que fue ingresada mediante el software Excel, siendo esta base de datos procesada en el software libre R, usando la guía RStudio.

Para la construcción del modelo matemático predictivo se utilizaron las 4 etapas de la metodología de Box-Jenkins:

- ❖ **Etapa 1.** Identificación del modelo.
- ❖ **Etapa 2.** Estimación de los parámetros del modelo.
- ❖ **Etapa 3.** Evaluación del modelo mediante pruebas de adecuación.
- ❖ **Etapa 4.** Predicciones con el modelo una vez verificado que predice satisfactoriamente.

Dentro de los equipos y materiales utilizados tenemos:

Para realizar el procesamiento informático se empleó una portátil Hp que cuenta con procesador Intel, Core I7 (8va gen.) y memoria RAM con capacidad de 12 GB.

Para la recolección de las fotografías se usó un celular iPhone 6s con un procesador APL0898 y una memoria RAM de 2 GB.

Además, se emplearon herramientas informáticas como: el software RStudio versión 4.0.1 que es un entorno dedicado a la computación estadística, en el entorno de R se realizó el código informático y también sirvió para realizar el análisis y explicación de los diferentes gráficos del modelo matemático. También se utilizó Microsoft Excel 2016 donde se realizó la depuración de la base de datos para luego procesarlos con el software RStudio. Por último, se empleó Microsoft Word 2016 donde se procedió a la escritura del presente trabajo de titulación.

### **3.3. Tipos de investigación**

Los tipos de investigación a desarrollarse son: descriptiva, longitudinal y proyectiva.

#### **Investigación descriptiva**

Este tipo de investigación es una forma de estudio para saber quién, dónde, cuándo, cómo y por qué del sujeto de estudio. El objetivo principal de la investigación descriptiva es identificar y dar a conocer las costumbres, actitudes y características más relevantes de un grupo de estudio [30].

Mediante la investigación descriptiva se analizó el comportamiento de la serie de tiempo de desechos sólidos hospitalarios de la empresa EPM GIDSA y de esa manera se realizó una proyección para un periodo de 12 meses.

#### **Investigación longitudinal**

La investigación longitudinal es un estudio observacional que recoge y compara datos obtenidos en diferentes intervalos de tiempo o momentos de una misma población, con el propósito de evaluar los cambios [31].

Con la investigación longitudinal se logró observar y analizar las características más relevantes de la serie de tiempo de desechos sólidos mensuales y se determinó que en la serie de tiempo existe una tendencia creciente y tiene estacionalidad, por lo cual se debe crear un modelo SARIMA.

#### **Investigación proyectiva.**

La investigación proyectiva intenta proponer soluciones a una situación determinada a partir de un proceso previo de investigación donde se explora, describe, compara, predice y se proponen alternativas de cambio [32].

Se aplicó este tipo de investigación, pues se buscó identificar, analizar y proyectar la cantidad estimada de recolección de desechos hospitalarios mensuales, con el fin de proponer una solución para que el relleno sanitario tenga un periodo de utilidad mayor.

### **3.4. Problema e hipótesis**

#### **Problema**

¿Cuál es el modelo matemático que permite describir y pronosticar adecuadamente el comportamiento de la recolección de desechos sólidos hospitalarios generados en la ciudad de Ambato en el periodo de 2014-2020?

#### **Hipótesis**

El modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] construido bajo la metodología de Box-Jenkins se ajusta adecuadamente a la serie de tiempo histórica de desechos hospitalarios generados en la ciudad de Ambato en el periodo 2014 - 2020 y permite realizar pronósticos correctos.

#### **Población y muestra**

La población de estudio está representada por los registros existentes de la cantidad de desechos sólidos (comunes, industriales y hospitalarios) recolectados por la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (EPM GIDSA) desde el 2014 hasta el 2020.

La muestra empleada para esta investigación está conformada por la cantidad de desechos hospitalarios que son recolectados mensualmente por la empresa, esta lista de valores está comprendida en el periodo de enero 2014 a marzo 2020.

### **3.5. Recolección de información**

Para esta investigación los datos son obtenidos directamente de la base de datos de la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (EPM GIDSA), en la base de datos se encuentran variables como el peso el cual se encuentra medido en kilogramos y el tiempo medido en días, semanas, meses y años. El periodo de tiempo que se utilizó para la construcción del modelo matemático es el mes.

### **3.6. Procesamiento y análisis estadístico**

Para el tratamiento de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel 2016 y el software libre RStudio versión 4.0.1., en el que se aplicó el modelamiento de la serie

de tiempo de desechos hospitalarios recolectados mensualmente empleando todas las etapas de la metodología de Box-Jenkins, de igual manera se construyó el código informático que permitió realizar las predicciones para un periodo comprendido entre abril 2021 a marzo 2022.

El análisis estadístico se realizó mediante el uso de las series de tiempo, en especial con los modelos que usan la metodología de Box-Jenkins, la cual consiste de las siguientes etapas:

### **Etapa 1. Identificación del modelo**

En la etapa de identificación se busca determinar si el valor de la media cambia a través del tiempo; es decir, si la serie de tiempo es estacionaria, para ello se utilizó la descomposición de la serie de tiempo, donde se encuentra las características como: el comportamiento de la serie, los residuos de la serie, la estacionalidad y la tendencia de la serie, también se utilizó la herramienta estadística el test de Dickey Fuller. Determinando la estacionariedad de la serie, lo siguiente fue determinar los parámetros (p, d, q), (P, D, Q) apropiados para construir el modelo SARIMA, para ello se utilizó los correlogramas de la función de autocorrelación simple y parcial.

### **Etapa 2. Estimación de los parámetros del modelo**

La estimación de los parámetros de los modelos tentativos se lo realizó mediante el software libre RStudio con el método de máxima verosimilitud, lo cual permitió seleccionar el modelo SARIMA que más se ajuste a la serie de tiempo. Se seleccionó el modelo que presenta menor error cuadrático medio (ECM) y el valor más pequeño en el criterio de información AKAIKE.

Una vez seleccionado el modelo, lo siguiente fue la estimación de los parámetros, para ello se utilizó la distribución normal cuyo valor del estadístico z ( $Z_{\text{crítico}} = 1.96$ ) y la probabilidad de z con un  $\alpha = 0.05$ . A partir de ello se realizó la comparación de los valores de z encontrado con los valores de z crítico, si los valores de z encontrado son mayores o iguales a z crítico los parámetros del modelo son significativos y por último se procedió a formar la ecuación de pronósticos de la serie de tiempo de desechos sólidos hospitalarios recolectados mensuales.

### **Etapa 3. Evaluación del modelo**

Para la evaluación del modelo SARIMA elegido se empleó pruebas estadísticas como: el test de Kolmogórov - Smirnov para determinar la normalidad de los residuos y el test Ljung-Box que determina que los residuos del modelo generan un ruido blanco. Para corroborar los resultados de las pruebas estadísticas se realizó un análisis gráfico de la función de autocorrelación simple (ACF) de los residuos y del diagnóstico del modelo.

### **Etapa 4. Predicciones**

Una vez determinado que el modelo SARIMA se ajusta adecuadamente se procedió a determinar si el modelo predice satisfactoriamente, para lo cual se dividió a los datos en dos grupos: entrenamiento y testeo. Verificado que el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] predice correctamente, se realizó el pronóstico para el periodo abril 2021 – marzo 2022.

#### **3.7. Variables respuesta o resultados alcanzados**

Las variables utilizadas para la construcción del modelo matemático fueron:

Como variable dependiente se utilizó la masa medida en kilogramos que hace referencia a la cantidad de desechos sólidos recolectados diariamente y son tabulados mensualmente para su respectivo análisis.

Mientras la variable independiente fue el tiempo medido en meses, desde enero del 2014 hasta marzo del 2020, registrado en la base de datos de la empresa EPM GIDSA.

Para la creación del modelo matemático se emplearon las series de tiempo, en especial los modelos basados en la metodología de Box-Jenkins. El modelo construido fue un ARIMA con tendencia estacional o SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12]. El modelo SARIMA fue sometido a varios procesos estadísticos para determinar su adecuación y la capacidad de pronosticar.

Establecido el modelo SARIMA que se ajusta adecuadamente a la serie de tiempo de desechos sólidos recolectados mensualmente, se realizó las proyecciones para un periodo de mediano plazo (12 meses o un año) comprendido entre abril 2021 y marzo 2022. Cabe resaltar que los datos de los desechos sólidos hospitalarios recolectados en

el periodo abril 2020 – febrero 2021 tuvieron un decrecimiento del 50%, motivo por el cual este periodo no fue tomado en cuenta para la construcción del modelo. Los resultados de los pronósticos estimados que se deben recolectar mensualmente fueron: para marzo 29227.82 kg, en abril 28903.13 kg, para junio 27410.86 kg, en julio 26190.00 kg, para agosto 28688.40 kg, en septiembre 25257.33 kg, mientras en octubre 25092.33 kg, para noviembre 30068.24 kg, en diciembre 26504.44 kg, para enero 2927.68 kg, en febrero 29259.96 kg y para el mes de marzo 29283.74 kg.

Con los resultados obtenidos del pronóstico se realizó la propuesta sobre el tratamiento de los desechos hospitalarios mediante la tecnología de la autoclave con el objetivo de transformarlos a residuos inertes y reducir su volumen en un 80%, con lo cual se tendrá mayor vida útil del relleno sanitario.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Variables y estructura de la base de datos

Los datos fueron recolectados directamente de la Empresa Pública Municipal para la Gestión de Desechos Sólidos de Ambato EPM-GIDSA en un periodo de 6 años, las variables y la estructura de los datos históricos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Variables y estructura de la base de datos

Meses	Masa kg
Chr. [1: 75]	Num. [1:75]
Enero	27046
Febrero	25521
Marzo	27634
Abril	24730
Mayo	27650
.	.
.	.
.	.
Marzo	24430

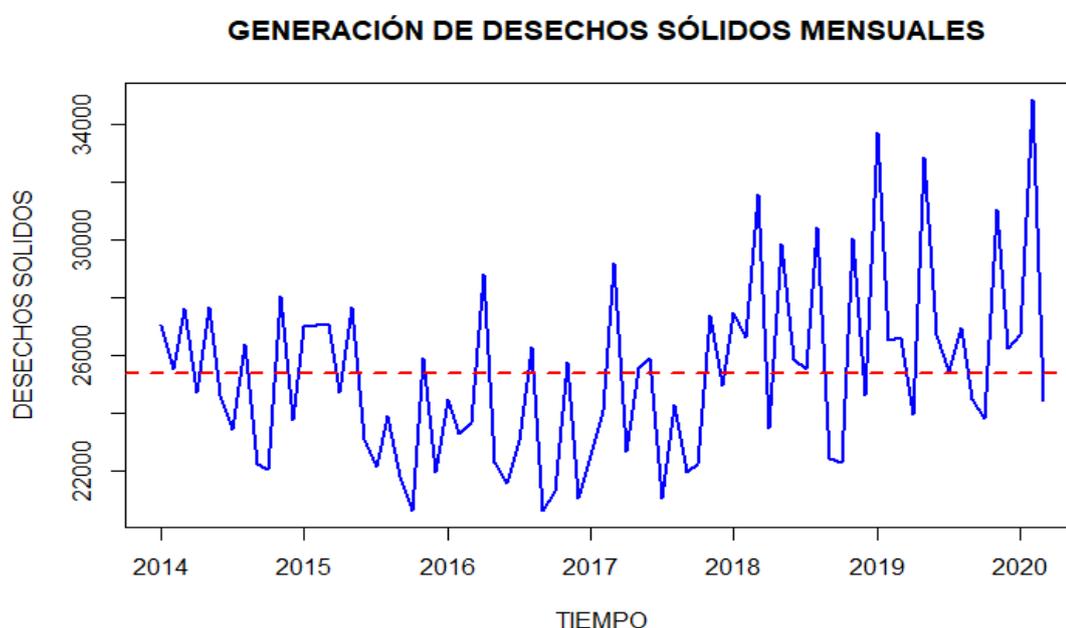
**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 2 se observan las variables y la estructura de la base de datos de la empresa EPM-GIDSA, entre enero del 2014 a agosto del 2020, cada variable consta de 75 datos. La variable tiempo medida en meses de tipo categórica, es la variable independiente de este estudio. La variable masa medida en kilogramos, de tipo numérica, es la variable dependiente en esta investigación. Una vez conocidas las variables para la construcción del modelo matemático mediante la base de datos de los desechos hospitalarios generados en la ciudad de Ambato, se aplican los modelos de series de tiempo.

#### 4.2. Transformación de los datos históricos a una serie de tiempo

Las series de tiempo son una lista de registros estadísticos que se recopilan o se observan en diversos intervalos de tiempo regulares (días, meses, trimestres o años). Las series de tiempos más utilizadas son aquellas que usan los registros medidos en meses, debido a que se puede observar con mayor precisión las características de la serie [33].

Mediante el software libre RStudio se realizó la transformación de la lista histórica de valores a una serie de tiempo. En la siguiente figura se presenta el comportamiento de la serie de tiempo de la masa medida en kilogramos.



**Figura 4.** Serie de tiempo de generación de desechos sólidos mensuales.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 4 se presenta el comportamiento de los datos transformados a una serie de tiempo, donde se observa que la media tiene un valor de 25700 Kg, evidenciando que no todos los datos pasan por la media; además, se visualiza que la varianza no es constante a lo largo del tiempo, por lo cual se concluye que esta serie de tiempo no es estacionaria.

#### 4.3. Modelo SARIMA según la metodología Box-Jenkins

En las series de tiempo los modelos más utilizados son los ARIMA y en particular el SARIMA, debido a que usa la parte estacionaria y estacional de la serie y de esa manera permite obtener pronósticos que son estadísticamente más precisos en

comparación con los modelos de suavizamiento exponencial y los ARIMA. Estos modelos utilizan por lo general un intervalo de tiempo medido en meses y para el desarrollo de un SARIMA según la metodología de Box-Jenkins se debe trabajar entre 5 a 10 años completos o disponer de 50 o más datos [34].

Para el desarrollo del modelo matemático que permita pronosticar la cantidad adecuada de desechos sólidos que puede ser almacenados en el relleno sanitario se empleó la metodología de Box – Jenkins que consta de cuatro etapas (identificación, estimación, evaluación y predicción), utilizando un intervalo de tiempo medido en meses.

#### **4.3.1. ETAPA 1. Identificación del modelo**

Para cumplir con la primera característica de la etapa de identificación se analiza si es estacionaria la serie de tiempo, usando el test de Dickey Fuller y un análisis gráfico de la descomposición de la serie.

##### **Prueba de raíz unitaria**

Para verificar si una serie de tiempo es estacionaria o si presenta una raíz unitaria se aplica el test de Dickey-Fuller aumentada, esta prueba utiliza un contraste de hipótesis con un  $\alpha = 0.05$ .

Hipótesis nula: no existe estacionariedad

Hipótesis alternativa: existe estacionariedad

Criterio de decisión

Si el  $p \text{ value} \geq \alpha$  se acepta la hipótesis nula

Si el  $p \text{ value} < \alpha$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa

**Tabla 3.** Test de Dickey Fuller

<b>Test de Dickey-Fuller aumentada</b>		
Datos: Masa		
Dickey-Fuller = -3.4519	Orden de retraso = 4	p-valor = 0.05389
Hipótesis alternativa: Estacionaria		

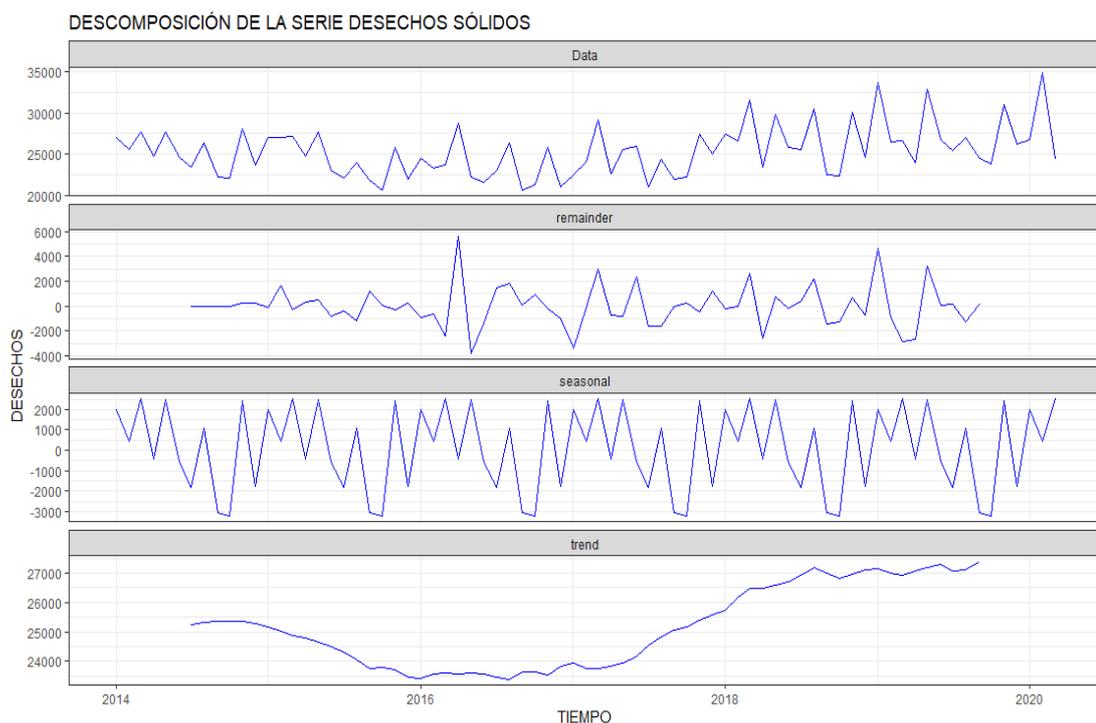
**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 3 se presenta los resultados de la prueba de raíz unitaria donde el p-valor del estadístico es de 0.05389, el mismo que es mayor al nivel de significancia preestablecido del 0.05, con lo cual se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa; por tal razón, se concluye que la serie de tiempo de desechos hospitalarios almacenados mensualmente según el estadístico Dickey Fuller no es estacionaria.

Para corroborar los resultados de la herramienta estadística anterior es necesario descomponer a la serie de tiempo con el objetivo de conocer y explicar sus características.

### Descomposición de la serie

Con la descomposición de la serie de desechos hospitalarios almacenados mensualmente se busca obtener y explicar la estacionalidad, la tendencia, el comportamiento y los errores de la serie de tiempo. En la siguiente figura se presenta la descomposición de la serie de tiempo de desechos sólidos.



**Figura 5.** Descomposición de la serie de tiempo desechos sólidos.

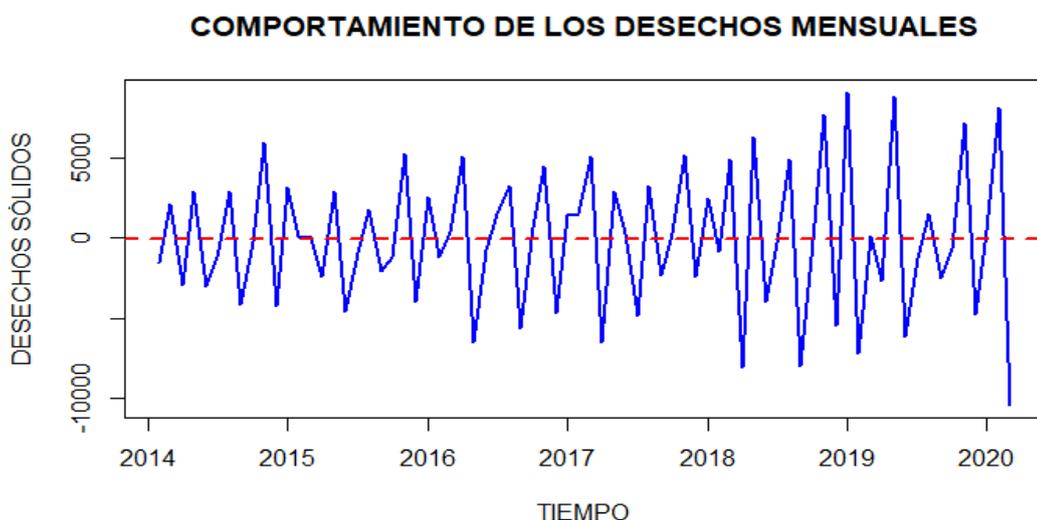
**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 5 se presenta la descomposición de la serie de tiempo de desechos sólidos recolectados mensualmente, la misma que está compuesta por 4 características como; el comportamiento original de la serie de tiempo, los residuos de la serie, la

estacionalidad y la tendencia. En el gráfico del comportamiento de la serie de tiempo se observa que los valores de la serie no se encuentran alrededor de la media y la varianza, por lo que no es constante a través del tiempo. En el gráfico de los residuos se observa que los valores de los residuales se encuentran alejados del cero por tal razón esta serie de tiempo no es estacionaria. Se observa un patrón estacional y que se repite cada 12 intervalos en el caso del gráfico de la estacionalidad, esto nos indica que se debe probar con los modelos de dependencia estacional o SARIMA. Por último, en el gráfico de la tendencia se visualiza que existe una tendencia creciente, con dicha tendencia se concluye que la serie de tiempo no es estacionaria y es necesario transformarla o diferenciarla para volverla estacionaria y así proceder a la construcción de SARIMA.

Una vez comprobado que la serie de tiempo no es estacionaria es necesario diferenciarla. Para determinar el número de diferencias de la parte estacionaria se aplicó el comando `ndiffs` (pesos) el mismo que arrojó un resultado de 1, mientras que con el comando `nsdiffs` (pesos) se determinó que el número de diferencias en la parte estacional es de 0.

### Serie estacionaria con la primera diferencia



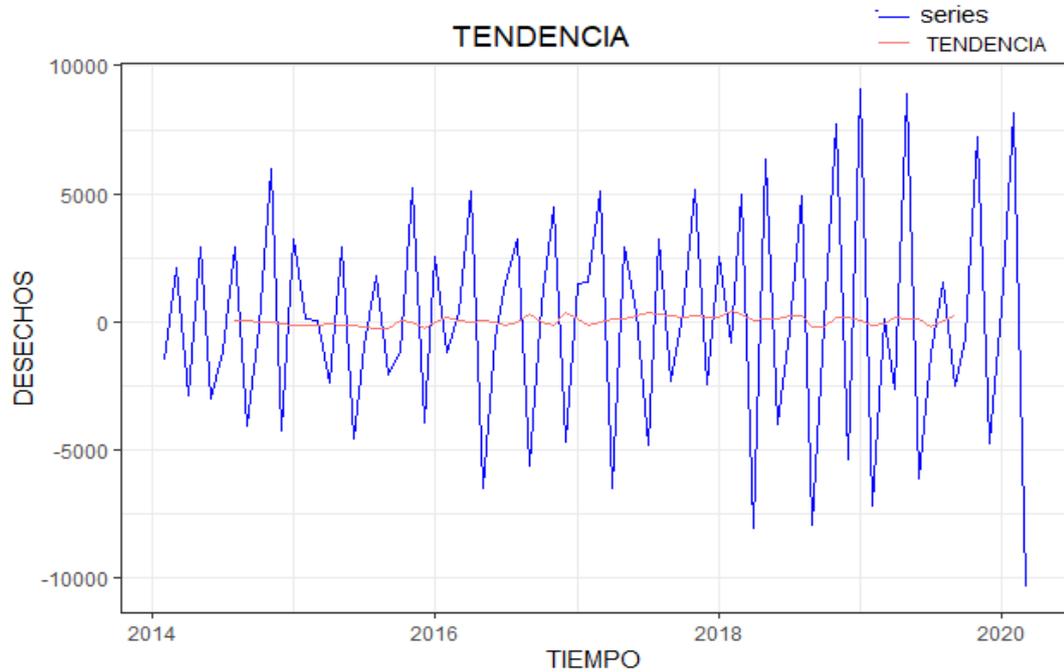
**Figura 6.** Serie de tiempo de desechos sólidos estacionaria.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 6 se presenta el comportamiento de la serie de tiempo de desechos sólidos hospitalarios con una primera diferencia, donde se observa que la media de los valores tiene un valor de cero y los ciclos de la serie pasan por la media; también se visualiza

que la varianza es constante a lo largo del tiempo y está comprendida en un intervalo  $[-10000; 10000]$ , por tal razón se concluye que la serie de tiempo ya es estacionaria.

De igual manera se presenta la tendencia de la serie aplicada con la primera diferencia.



**Figura 7.** Comportamiento y tendencia de la serie con una primera diferencia.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 7 se presenta la tendencia y el comportamiento de la serie de tiempo de los desechos sólidos hospitalarios con una primera diferencia. Se observa que la tendencia de la serie es horizontal y se ha eliminado la tendencia creciente, por tal razón al aplicar una primera diferencia la serie ya es estacionaria.

Para corroborar lo explicado en las figuras 6 y 7 se aplica nuevamente el test de Dickey Fuller en la serie tiempo de desechos sólidos hospitalarios con una primera diferencia.

**Tabla 4.** Test de Dickey Fuller

<b>Test de Dickey-Fuller aumentada</b>		
Datos: Masa		
Dickey-Fuller = -5.4646	Orden de retraso = 4	p-valor = 0.01
Hipótesis alternativa: Estacionaria		

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

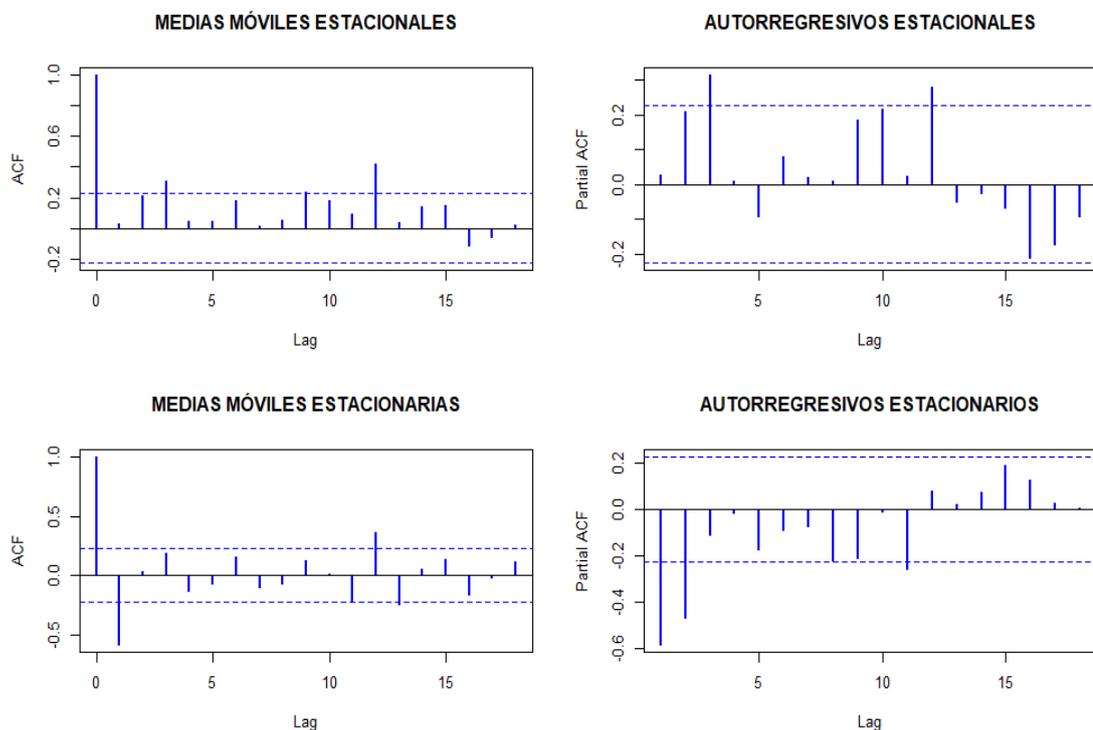
En la tabla 4 se observa que el p valor del estadístico de Dickey Fuller aumentada es de 0.01 el mismo que es menor al nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , por tal razón se

rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa y se concluye que la serie de tiempo con una primera diferencia ya es estacionaria y es adecuada para proceder a la identificación de los parámetros del modelo.

La siguiente característica de la etapa de identificación es la determinación de los parámetros que forman el modelo SARIMA, para la selección de los parámetros  $(p, q)$   $(P, Q)$  se emplean los correlogramas de la serie original y la serie diferenciada.

### Correlogramas de la serie original y con una diferencia

El comportamiento de las funciones de autocorrelación simple (ACF) y la función de autocorrelación parcial (PACF) se puede observar en la presente figura, los cuales ayudan a encontrar los valores adecuados de los parámetros  $(p, q)$  y  $(P, Q)$ .



**Figura 8.** Correlogramas ACF y PACF.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 8 se presenta los correlogramas de la serie original y diferenciada. Se observa que la función ACF estacional posee dos retardos significativos, por lo que se debería probar con una media móvil de orden  $q = (0, 1 \text{ o } 2)$ , mientras que en la función PACF estacional se puede observar que existen dos retardos significativos, por tal razón se recomienda realizar un modelo estacional el cual contenga un autorregresivo de orden  $p = (0, 1 \text{ o } 2)$ . Mientras los correlogramas estacionarios indican que en la

función ACF estacionaria existe un retardo significativo, por lo que se propone un modelo estacionario con una media móvil de orden  $q = (0 \text{ o } 1)$ . De igual manera se observa que la función PACF estacionaria posee un retardo significativo, por lo que se sigue un modelo estacionario con un autorregresivo de orden  $p = (0 \text{ o } 1)$ . Según estas funciones se propone 5 modelos de los cuales se escogerá el modelo que tenga el menor error cuadrático medio (ECM) y el valor más pequeño en el criterio de información AKAIKE (AIC).

### Modelos propuestos

Una vez conocido los posibles parámetros  $(p, q)$   $(P, Q)$  a través de las funciones ACF y PACF, se puede establecer cinco opciones de modelos tentativos. En la siguiente tabla se presentan dichos modelos seleccionados:

**Tabla 5.** Modelos propuestos

Número	Modelos	ECM	AIC
Modelo 1	AUTO.ARIMA(0,1,2) (1,0,0) [12]	6508397	1381.41
<b>Modelo 2</b>	<b>SARIMA (1,1,1) (1,0,1) [12]</b>	<b>5423306</b>	<b>1379.85</b>
Modelo 3	SARIMA (0,1,1) (0,0,1) [12]	7385946	1388.13
Modelo 4	SARIMA (2,1,0) (1,0,1) [12]	5524506	1380.41
Modelo 5	SARIMA (0,1,2) (2,0,1) [12]	5523204	1381.32

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

El resumen de los cinco modelos tentativos se presenta en la tabla 5 y mediante el análisis del error cuadrático medio y el criterio de información AKAIKE se selecciona el modelo que más se ajuste a la serie histórica de recolección de desechos sólidos hospitalarios se analiza. Al realizar la comparación entre los 5 modelos, el modelo que tiene el menor error cuadrático medio ( $ECM = 5423306$ ) y el valor más pequeño del criterio de información AKAIKE ( $AIC = 1379.85$ ) fue el modelo, el cual está conformado por una media móvil en la parte estacionaria como estacional, por un autorregresivo en la parte estacional como estacionaria, una diferencia en la parte estacionaria y cero diferencias estacionales. Su expresión matemática es el SARIMA  $(1, 1, 1) (1, 0, 1)$  [12].

### 4.3.2. ETAPA 2. Estimación de los parámetros del modelo

La siguiente etapa de la metodología de Box-Jenkins es la estimación de los parámetros del modelo, que usa el método de máxima verosimilitud para lo cual se utilizó el software libre 4.0.1 RStudio. En la siguiente tabla se muestra los parámetros del modelo SARIMA seleccionado.

**Tabla 6.** Parámetros del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) seleccionado [12]

<b>SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12]</b>						
	ar1	ma1	sar1	sma1		
Coefficientes	- 0.3260	-0.7882	0.9926	-0.8934		
Error estándar	0.1267	0.0695	0.0580	0.4112		
ECM = 5423306:	Probabilidad de registro = -684.92					
AIC = 1379.85	AICc = 1380.73			BIC = 1391.37		
Medidas de error en el conjunto de entrenamiento:						
ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
181.65	2249.83	1730.25	-0.024	6.618	0.747	-0.051

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

Donde:

ar1: número de autorregresivos en la parte estacionaria (p)

ma1: número de medias móviles en la parte estacionaria (q)

sar1: número de autorregresivos en la parte estacional (P)

sma1: número de medias móviles en la parte estacional (Q)

AIC: criterio de información AKAIKE

AICc: criterio de información AKAIKE corregido

BIC: criterio de información Bayesiano

En la tabla 6 se presenta el resumen del modelo donde se visualiza la información del modelo SARIMA escogido. En el resumen del SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] se observa los coeficientes del modelo, el error estándar de cada coeficiente, el error

cuadrático medio, la probabilidad de registro, el criterio de información AKAIKE y los errores de entrenamiento del modelo.

### Significancia de los parámetros

Conocido el modelo SARIMA y determinado el resumen del mismo, es necesario conocer si los parámetros que forman parte del modelo son significativos y si son los adecuados para formar la ecuación de pronósticos. Para la estimación de los parámetros del modelo se aplica el método de máxima verosimilitud. En la siguiente tabla se presenta la estimación y la significancia de los parámetros del modelo SARIMA.

**Tabla 7.** Estimación del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12]

Parámetro	Estimación	Error Std.	Valor z	Prob. (> z )
ar1	-0.326017	0.126690	-2.5733	0.01007 *
ma1	-0.788234	0.069517	-11.3387	2x10 <sup>-16</sup> ***
sar1	0.992616	0.058018	17.1086	2x10 <sup>-16</sup> ***
sma1	-0.893418	0.411184	-2.1728	0.02980 *
Códigos de significancia: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ .05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1				

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 7 se muestra el modelo con la estimación de los parámetros como: la estimación, el error estándar, el valor de z y la probabilidad de z. Para determinar si las estimaciones son significativas se fija que el valor absoluto de z debe ser mayor a 1.96 y la probabilidad debe ser menor a 0.05. Se observa que el valor de z en cada parámetro es superior al valor crítico de 1.96 por tal razón las estimaciones son significativas, de igual manera en la columna que contiene a la probabilidad de z de cada parámetro se observa que las estimaciones son inferiores a 0.05, por lo cual se concluye que son significativas y son las adecuadas para formar la ecuación de pronósticos del modelo SARIMA.

El modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] según la ecuación 2 puede expresarse de la siguiente forma:

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \Phi_1 Y_{t-12} - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \Theta_1 \varepsilon_{t-12} + \varepsilon_t$$

Donde:

$Y_t$  = Pronóstico de la cantidad de desechos sólidos recolectados mensualmente.

$\varphi_1, \Phi_1, \theta_1, \Theta_1$  = Son los parámetros del SARIMA

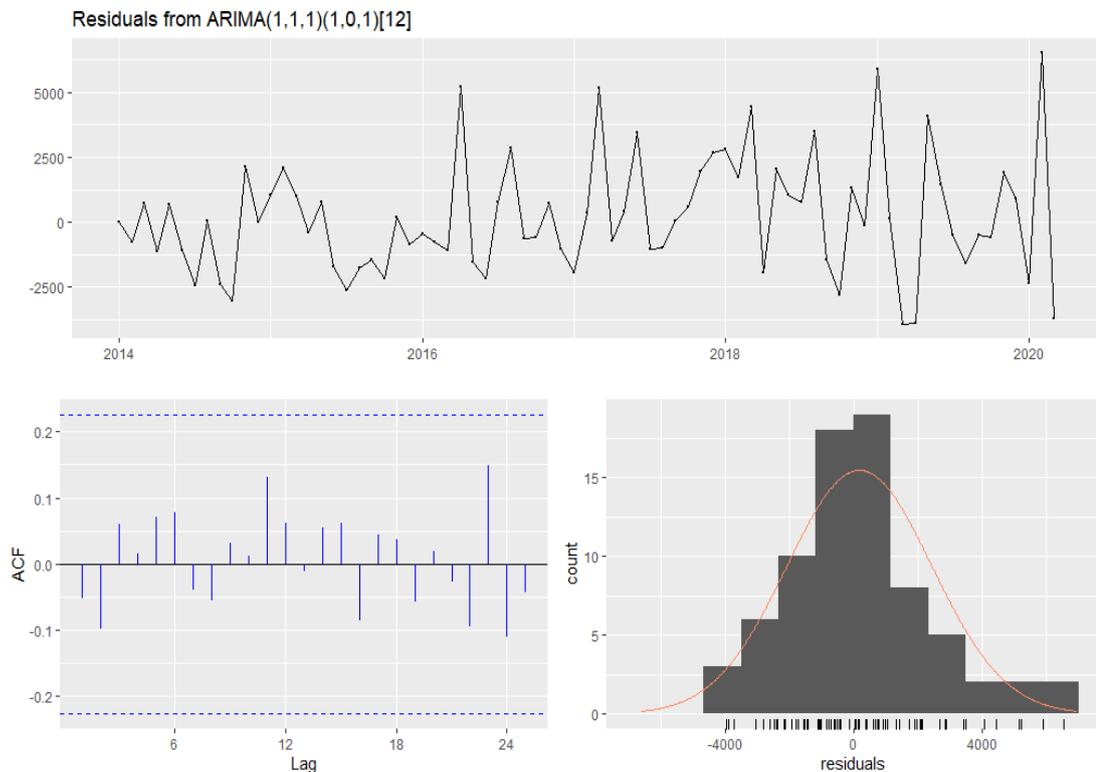
$\varepsilon_t$  = Es el error de ruido blanco.

Con las estimaciones presentadas en la tabla 7 lo siguiente es formar la ecuación de pronósticos, para ello se reemplaza dichas estimaciones en la ecuación del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12], la misma que se expresa de la siguiente forma.

$$\Delta Y_t = -0.326 Y_{t-1} + 0.992 Y_{t-12} + 0.7882 \varepsilon_{t-1} + 0.8934 \varepsilon_{t-12} + \varepsilon_t$$

### 4.3.3. ETAPA 3. Evaluación del modelo

Para evaluar el modelo SARIMA se realizó un análisis gráfico de los residuos y se aplicó pruebas estadísticas como el test de Kolmogórov-Smirnov y el test de Ljung-Box. Dentro del análisis de los residuos se presentan tres figuras que ayudaron a determinar si los residuos se distribuyen aleatoriamente y si generan un ruido blanco.

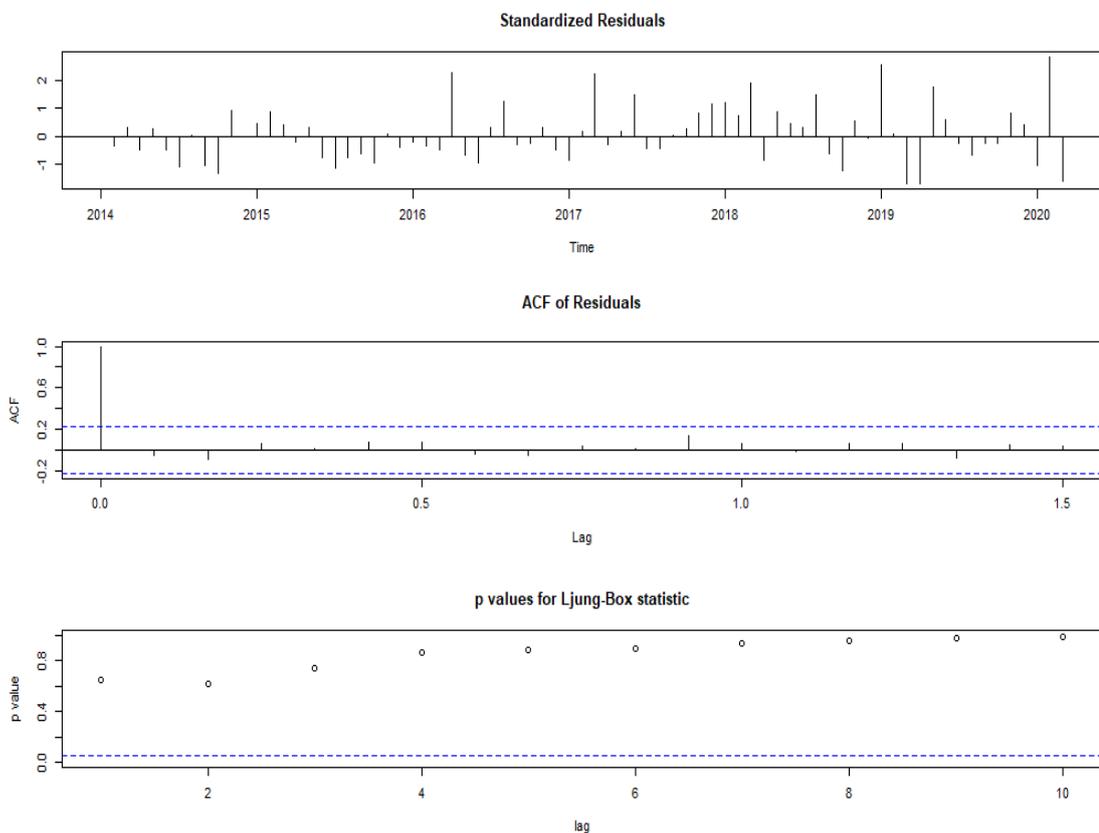


**Figura 9.** Residuos del modelo SARIMA.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

Se observa en la figura 9 tres gráficos. El primer gráfico corresponde al comportamiento de los residuos en el que se visualiza que se comportan como un ruido blanco. El segundo gráfico hace referencia a la función ACF de los residuos, observándose que ningún retardo está fuera de los intervalos de confianza preestablecidos, por lo que los residuos del modelo son aleatorios. Y en el tercer gráfico se determina en el histograma y en la curva de la distribución normal que los residuos del modelo SARIMA siguen una distribución normal.

Para continuar con la evaluación del modelo SARIMA según el análisis gráfico se presenta otra figura que hace referencia a los errores del modelo, función de autocorrelación simple de los errores y el valor del estadístico del Ljung Box.



**Figura 10.** Análisis del modelo SARIMA.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 10 se presentan tres gráficas. La primera gráfica hace referencia a los errores estandarizados del modelo y se observa que los residuos se distribuyen de manera aleatoria y están generando un ruido blanco. La segunda gráfica pertenece a la

función de ACF de los residuos, donde se visualiza al igual que en la figura anterior que no existe ningún retardo que esté fuera del intervalo de confianza establecido. Por último, la tercera gráfica representa al p-valor del estadístico de Ljung-Box y se observa que todos los residuos del modelo se encuentran por arriba del intervalo de significancia prestablecido del 0.05, por lo cual se afirma que los mismos se comportan como un ruido blanco.

Una vez determinado que el modelo es el adecuado mediante el análisis gráfico de los residuos, se hace necesario corroborar estos resultados utilizando herramientas estadísticas. A continuación, en la siguiente tabla se presenta el test de Kolmogórov-Smirnov que utiliza un nivel de significancia del  $\alpha = 0.05$  con un contraste de hipótesis:

Hipótesis nula: Existe normalidad.

Hipótesis alternativa: No existe normalidad.

Criterio de decisión

Si el  $p\text{-value} \geq \alpha$  se acepta la hipótesis nula.

Si el  $p\text{-value} < \alpha$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

**Tabla 8.** Test de Kolmogórov-Smirnov

<b>Test de Kolmogórov Smirnov</b>	
Datos: Residuos del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12]	
D = 0.093651	p-valor = 0.4969
Hipótesis alternativa: Bilateral	

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 8 se presenta el test de Kolmogórov-Smirnov, observándose un valor de 0.4969 de p-valor del estadístico, el cual es superior al nivel de significancia del 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los residuos del modelo siguen una distribución normal.

Mediante la herramienta estadística el test de Ljung-Box, el cual utiliza un nivel de significancia del  $\alpha = 0.05$  y un contraste de hipótesis, se determinó si los residuos del modelo parecen actuar como un ruido blanco.

Hipótesis nula: Existe ruido blanco.

Hipótesis alternativa: No existe ruido blanco.

Criterio de decisión

Si el  $p \text{ value} \geq \alpha$  se acepta la hipótesis nula.

Si el  $p \text{ value} < \alpha$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

**Tabla 9.** Test de Ljung-Box

<b>Test Ljung- Box</b>
Datos: Residuos del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12]
X-cuadrada = 0.20357,      Grados de Libertad = 1,      p-valor = 0.6519
<b>Fuente:</b> Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

Se presentan los resultados de la aplicación del test de Ljung-Box en la tabla 9, en donde se puede observar que el p-valor de dicho estadístico es de 0.6519 y al compararlo con el nivel de significancia cuyo valor es 0.05 se acepta la hipótesis nula y se concluye que los residuos del modelo si se comportan como un ruido blanco.

Una vez verificado que el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] cumple con las pruebas de adecuacidad y de aleatoriedad la siguiente etapa es establecer las predicciones con el modelo.

#### **4.3.4. ETAPA 4. Predicción en base al modelo**

La última etapa de la metodología de Box-Jenkins es la predicción, la misma que cuenta con dos características: La primera es verificar que tan bien predice el modelo y la segunda es realizar las proyecciones para un periodo de corto, mediano o largo plazo.

#### **Evaluación de las predicciones**

Para realizar la evaluación de los pronósticos es recomendable dividir los datos en dos grupos: el primer grupo es para el entrenamiento y el segundo grupo es para el testeo. En la siguiente tabla se presenta la comparación de los pronósticos según el grupo de entrenamiento frente a los datos de testeo, los mismos que son los valores reales de la serie, con el fin de validar los pronósticos realizados con el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12].

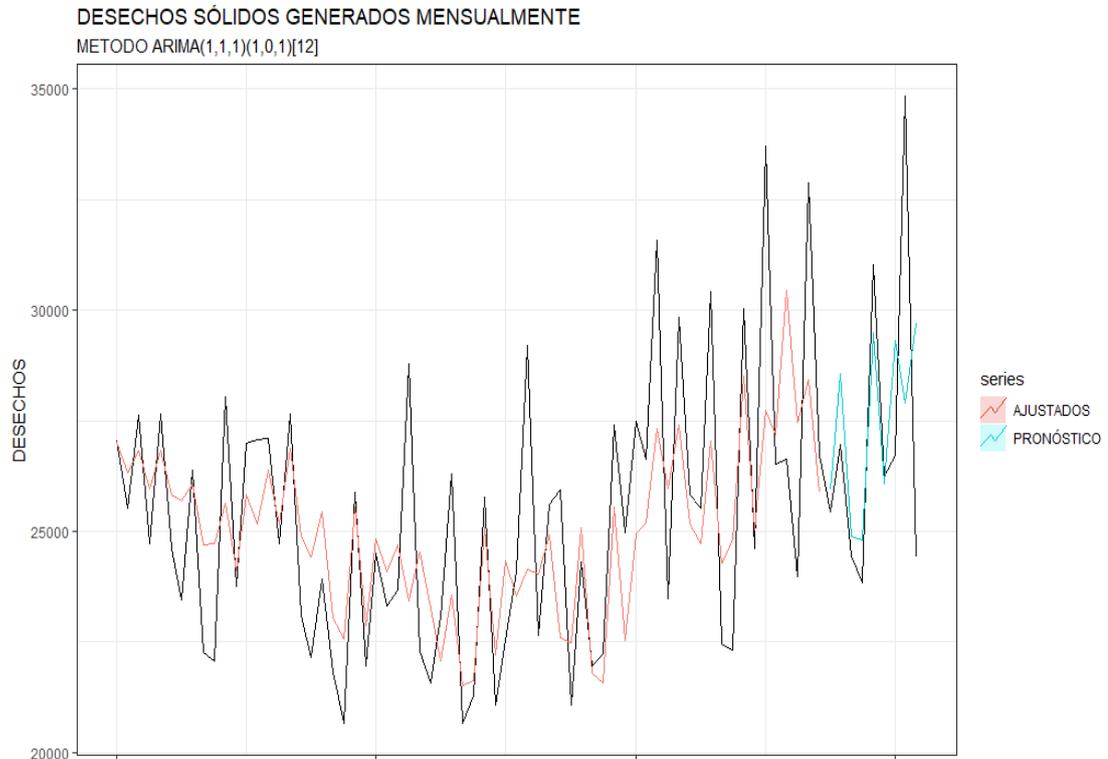
**Tabla 10.** Comparación entre los datos de entrenamiento y testeo

<b>Meses</b>	<b>Testeo</b>	<b>Entrenamiento</b>	<b>Error</b>
Julio (2019)	25450	25930.43	1%
Agosto (2019)	26960	28560.04	5%
Septiembre (2019)	24460	24882.72	1%
Octubre (2019)	23840	24792.04	3%
Noviembre (2019)	31040	29488.93	-5%
Diciembre (2019)	26240	26081.36	-1%
Enero (2020)	26710	29309.36	9%
Febrero (2020)	34840	27899.24	-10%
Marzo (2020)	24430	29694.01	20%
<b>PROMEDIO</b>	27108	27404	1%

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 10 se presenta la comparación de los valores de entrenamiento y los valores de testeo. El grupo de datos de entrenamiento consta de 66 datos los mismos que sirven para obtener los pronósticos y se presentan en la columna entrenamiento, mientras el grupo de testeo contiene 9 datos y sirve para establecer la comparación con los valores de entrenamiento. Al comparar cada pronóstico con su valor real se observa que no existe mucha diferencia en sus valores, según el promedio general el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] excede en el 1% a los valores reales de los desechos sólidos hospitalarios, con este porcentaje se concluye que el modelo si predice de forma satisfactoria y es el adecuado para realizar las proyecciones a mediano plazo.

En la siguiente figura se presenta el comportamiento de la serie de recolección de desechos sólidos hospitalarios mensuales, el grupo de datos de testeo y los pronósticos con los datos de entrenamiento.



**Figura 11.** Comportamiento de las series de entrenamiento y de testeo.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 11 se presenta el comportamiento del grupo de datos de entrenamiento, de testeo y los valores originales, donde la línea de color negro representa al comportamiento original de los datos de desechos sólidos hospitalarios recolectados mensualmente en el periodo de enero del 2014 a marzo del 2020. Mientras la línea de color rojo representa los valores ajustados al grupo de entrenamiento y la línea de color turquesa representa los pronósticos realizados con el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12]. Al realizar las comparaciones entre el comportamiento de los valores de entrenamiento y de testeo se visualiza que los pronósticos son similares a los datos reales, concluyendo que el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] se ajusta de manera adecuada a la serie de valores históricos de recolección de desechos sólidos hospitalarios mensuales y predice satisfactoriamente a la serie de tiempo.

Una vez verificado que el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] predice de forma satisfactoria lo siguiente es establecer las proyecciones para un periodo de un año calendario. En la siguiente tabla se presenta las proyecciones realizadas con el modelo.

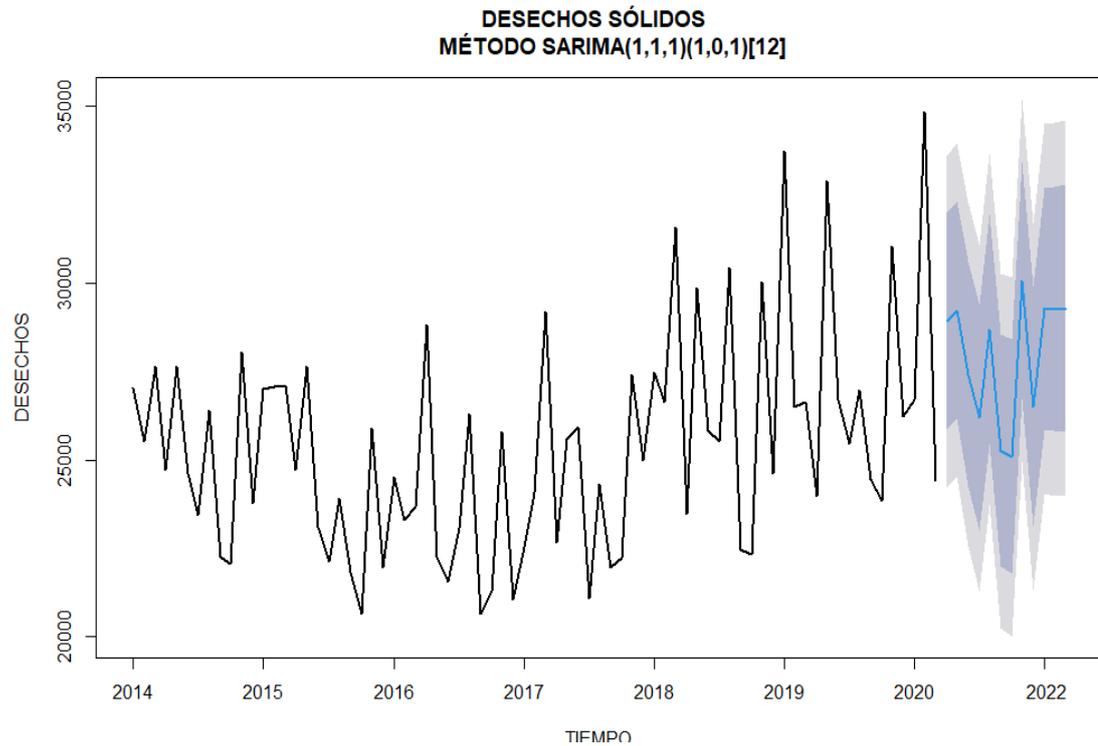
**Tabla 11.** Pronósticos de desechos sólidos hospitalarios mensuales

<b>Meses</b>	<b>Pronósticos (kg)</b>	<b>Intervalo inferior 80%</b>	<b>Intervalo Superior 80%</b>	<b>Intervalo inferior 95%</b>	<b>Intervalo Superior 95%</b>
Apr 2021	28903.13	25841.70	31964.56	24221.08	33585.18
May2021	29227.82	26148.25	32307.39	24518.03	33937.61
Jun 2021	27410.86	24238.05	30583.67	22558.47	32263.25
Jul 2021	26190.00	22992.31	29387.68	21299.56	31080.44
Aug 2021	28688.40	25449.09	31927.70	23734.30	33642.49
Sep 2021	25257.41	21982.83	28531.99	20249.38	30265.44
Oct 2021	25092.33	21781.30	28403.35	20028.55	30156.10
Nov 2021	30068.24	26720.99	33415.49	24949.06	35187.42
Dic 2021	26504.44	23124.93	29883.94	21335.93	31672.95
Ene 2022	29271.68	25861.88	32681.49	24056.84	34486.53
Feb 2022	29259.96	25815.74	32704.17	23992.49	34527.42
Mar 2022	29283.74	25805.46	32762.01	23964.18	34603.30

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 11 se presenta los pronósticos mediante el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12], dichos pronósticos están presentados mediante intervalos de confianza del 80% y el 95 %, en este trabajo investigativo se utiliza el intervalo de 95%. Cabe resaltar que en las series de tiempo no se toma como dato, ni tampoco se puede predecir ni medir variaciones irregulares ocasionadas por circunstancias que no se pueden controlar como huelgas, terremotos y desastres naturales, por esta razón no se realiza la proyección para el periodo abril 2020 a marzo 2021, debido a que se está atravesando una pandemia mundial y la recolección de los desechos hospitalarios se clasificó en desechos peligrosos que se generaron por el COVID y los desechos sólidos hospitalarios normales que son los trasladados al relleno sanitario. En la columna de pronósticos se observa que la media es similar a la lista histórica de desechos sólidos.

En la siguiente figura se puede observar el comportamiento de los pronósticos:



**Figura 12.** Comportamiento de los pronósticos.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la figura 12 se presenta el comportamiento de las proyecciones según el modelo SARIMA, donde se observa que la línea de color negro representa al comportamiento histórico de la serie mientras la línea azul simboliza la media del pronóstico de los desechos sólidos hospitalarios recolectados mensualmente. También se visualiza que el color gris oscuro es el nivel de significancia del 85% y el color gris claro representa el nivel de significancia del 95%. Se puede observar en tabla 11 y figura 12 que el mes de noviembre es donde se recoge mayor cantidad de desechos sólidos, mientras que en los meses de septiembre y octubre existe una disminución en la recolección de desechos sólidos hospitalarios el resto de meses se mantiene una recolección moderada en el intervalo (26000 a 29000). De igual manera se visualiza que las proyecciones son semejantes a la serie histórica de desechos sólidos recolectados mensualmente.

Con las proyecciones establecidas, lo siguiente es plantear la propuesta y dar solución al problema generado por el riesgo biológico y el gran volumen que ocupa los desechos sanitarios en las celdas de seguridad dispuestas en el Relleno Sanitario del cantón Ambato.

## **PROPUESTA**

### **Ámbito**

La investigación fue realizada en base a los datos de ingreso de los desechos hospitalarios al relleno sanitario obtenidos de los archivos del sistema SIPECA de la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos del cantón Ambato EPM GIDSA

### **Problema**

¿Cómo incide los desechos hospitalarios del cantón Ambato en el ecosistema y en la salud de sus habitantes cuando son depositados en el relleno sanitario sin previo tratamiento?

### **Estrategia**

Mediante la proyección de la cantidad de desechos sólidos hospitalarios que se va a recolectar mensualmente, se plantea como estrategia ambiental, la adquisición de tecnologías limpias que nos ayuden al tratamiento de dichos desechos de tal manera que se conviertan en residuos inertes y reduzcan significativamente el volumen que ocupan en su disposición final.

### **Objetivo**

Formular un plan de mejoras en los procesos de tratamiento y disposición final de los desechos hospitalarios con la finalidad de reducir los riesgos biológicos, sociales y ambientales que se generan por la operación de las celdas de seguridad implantadas en el relleno sanitario del cantón Ambato.

### **Actividades**

Con el propósito de conocer la densidad de los desechos hospitalarios que son recolectados de los diferentes establecimientos de salud del cantón Ambato se realizó el levantamiento de datos del peso diario y el volumen que ocupan los mismos en el cajón del camión recolector durante 15 días consecutivos.

Como primera actividad se obtuvo las dimensiones del cajón del camión, donde el largo (l) es de 3 m, el ancho (a) de 1.57 m, la altura (h) de 1.70 m y un volumen de 8m<sup>3</sup>.

$$V = l \times a \times h \quad (3)$$

Se realizó la toma de la masa de los desechos hospitalarios ingresados de manera diaria al relleno sanitario y se determinó el volumen que ocupan los referidos desechos dentro del cajón del camión recolector, obteniéndose los siguientes datos:

**Tabla 12.** Masa y volumen

<b>DETERMINACIÓN DE LA MASA &amp; VOLUMEN</b>		
Días	Masa (kg)	Volumen (m <sup>3</sup> )
01	600	5.6
02	630	6
03	480	4.4
04	520	4.9
05	680	6.4
06	520	4.8
07	490	4.5
08	430	4.0
09	500	4.6
10	530	4.8
11	620	5.6
12	580	5.2
13	510	4.8
14	380	3.6
15	480	4.4

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

Una vez que se tienen los datos de la masa y volumen, se obtiene la densidad de los desechos sanitarios mediante la siguiente expresión.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

donde:

$\rho$  es la densidad, m es la masa y V el volumen.

Para la obtención de la densidad de los desechos hospitalarios fue necesario buscar en la bibliografía dicha caracterización, con la finalidad de verificar que el dato que se obtuvo se encuentra dentro del rango de densidad establecido para este tipo de desechos.

En el artículo de “Manejo de Desechos Sanitarios en la ciudad de Riobamba” estipula que, para cuantificar los desechos peligrosos, en primer lugar, se procedió con la toma de datos en el Departamento de Desechos Sólidos (GAD MUNICIPAL DE RIOBAMBA 2004), donde se recopiló la información del número y tipo de establecimientos de salud que tienen el servicio de recolección diferenciada para luego clasificarlos por tipo de establecimiento. Con esa base de datos se pudo establecer el plan de muestreo a ejecutarse para la caracterización de los desechos sanitarios, generados en las casas de salud de la ciudad de Riobamba, luego de lo cual, mediante un muestreo aleatorio simple se procedió a realizar 3 caracterizaciones por establecimiento y por tipo de desecho a una muestra de 24 centros de salud de una población de 277, mismos que fueron pesados durante tres días consecutivos con una frecuencia de recolección (3/7) por 4 semanas en los establecimientos de salud destinados para el muestreo, determinándose que se genera alrededor de 13171,6 kg/mes, con una tasa de: infecciosos: 1,15 kg/cama/día, no infecciosos: 0,60 kg/cama/día y posterior se obtuvo la densidad de 110 kg/m<sup>3</sup>. [35]

En la siguiente tabla se presentan las densidades obtenidas de 15 días, mediante la aplicación de la ecuación 4.

**Tabla 13.** Densidad

<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD</b>	
<b>Días</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>
01	107
02	105
03	109
04	106
05	106
06	108
07	109
08	108
09	109
10	110
11	111
12	111
13	106
14	106
15	109
<b>Promedio</b>	<b>108</b>

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 13 se presenta la densidad promedio, la misma que tiene un valor de 108 kg/m<sup>3</sup> y con los valores predichos de los desechos sólidos hospitalarios para el año 2022, se determina el volumen que ocuparán estos desechos, necesario para el dimensionamiento de la celda de seguridad que deberá ser construida dentro del Relleno Sanitario, una vez conocido los pronósticos de la masa de los desechos sólidos hospitalarios recolectados mensualmente para el año 2022, lo siguiente es determinar el volumen que ocuparán estos desechos y de esta manera dimensionar la celda de seguridad dentro del Relleno Sanitario.

En la siguiente tabla se presentan el volumen estimado de cada mes proyectado

**Tabla 14.** Masa y volumen estimado.

<b>Densidad = 108 kg/m<sup>3</sup></b>	<b>V = m / ρ</b>
<b>Masa pronosticada (kg)</b>	<b>Volumen estimado (m<sup>3</sup>)</b>
28903.13	267.62
29227.82	270.62
27410.86	253.80
26190.00	242.5
28688.4	265.63
25257.41	233.86
25092.33	232.34
30068.24	278.41
26504.44	245.41
29271.68	271.03
29259.96	270.93
29283.74	271.15
<b>VOLUMEN ANUAL</b>	<b>3103.32</b>

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

En la tabla 14 se muestra que el volumen anual estimado de desechos sólidos hospitalarios es de 3103.32 m<sup>3</sup> para el año 2022, por lo cual se necesitará construir una celda con las dimensiones, de largo 21m, de ancho 25m y de alto 6m:

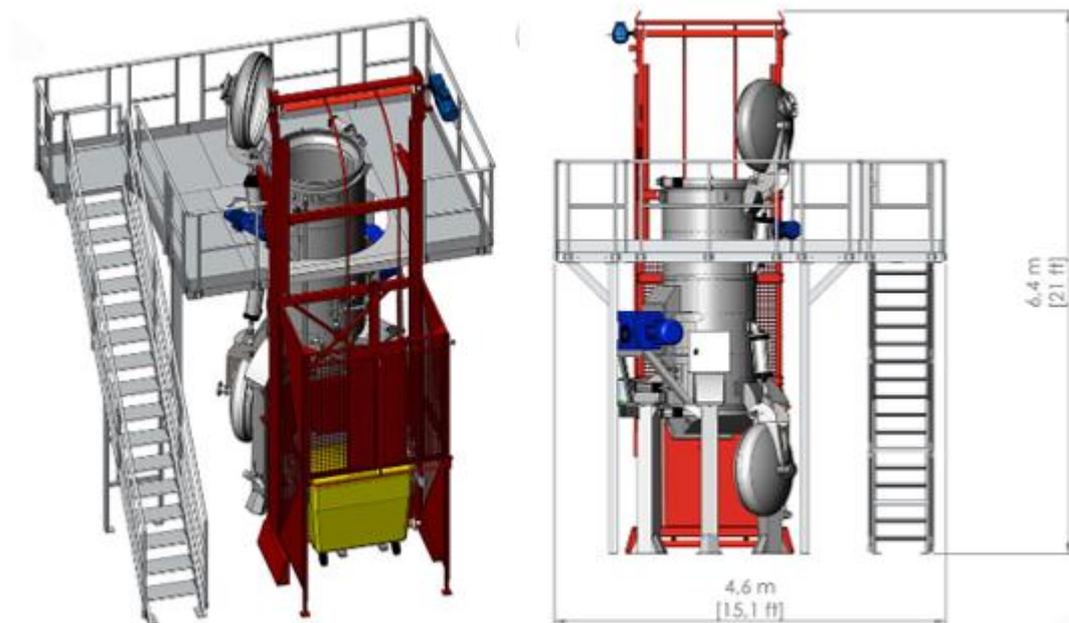
Las celdas de seguridad que deben ser construidas de manera anual para depositar los desechos hospitalarios, requieren de áreas grandes, por lo que se propone como una estrategia ambiental adquirir un equipo (autoclave) que realice un tratamiento de eliminación de patógenos y reducción del volumen de estos desechos de tal manera que ya no se construya este tipo de celdas exclusivas de seguridad. En cuanto se realice el tratamiento mediante la inactivación, se puede aplicar el Reglamento para la Gestión Integral de los Residuos y Desechos generados en los establecimientos de Salud en el cual se estipula “Los desechos corto-punzantes que no hayan sido inactivados con algún tipo de tecnología física para el efecto, se colocarán en recipientes rígidos a prueba de perforaciones; aquellos que hayan sido inactivados por dicha tecnología serán considerados desechos comunes, y en caso de mantener características corto-punzantes, de igual manera se almacenarán en los recipientes

antes descritos.”; por tal razón una vez que se aplique el tratamiento térmico mediante el autoclave estos desechos quedarán totalmente inactivados, por lo que se podrán disponer en la plataforma de los desechos comunes y de esta manera se evitará la construcción de las celdas de seguridad, reduciendo los costos de construcción de las mismas. [23]

Como parte de una verdadera estrategia de desarrollo sostenible ambiental se propone el tratamiento de los desechos hospitalarios mediante la esterilización, la cual es llevada a cabo a través de un equipo que lleva como primer procedimiento la trituración, posteriormente los desechos son llevados a alta temperatura (138°C) y a alta presión (3.5 bar), dando como resultado que los desechos queden libres de cualquier microorganismo patógeno. El tratamiento térmico se lleva a cabo mediante autoclaves las cuales poseen las siguientes características:

- ❖ La trituración y la esterilización se realizan en la misma cámara, cerrada y compacta, hecha de acero inoxidable, lo que reduce la manipulación de los desechos.
- ❖ Los residuos contaminados son introducidos en la cámara superior de la máquina dentro de una trituradora de alta resistencia. Los residuos son triturados y transportados por gravedad a la cámara inferior.
- ❖ Después de la trituración de los residuos, estos son calentados mediante vapor de agua a una temperatura de 138 °C y una presión de 3.5 bar.
- ❖ La esterilización se consigue al someter el núcleo de los residuos a una temperatura de 138 °C durante 10 minutos.
- ❖ Después de enfriarse, los residuos resultantes pueden ser reciclados o colocados en los contenedores de basura común y su volumen es reducido hasta el 80%.
- ❖ El proceso puede ser totalmente automático, tiene un ciclo promedio de 35 minutos. [36]

Dentro del mercado internacional que comercializan estos tipos de equipos (autoclaves). Esta maquinaria tiene la capacidad de rendir tres turnos día (120 horas / semana); por lo tanto, para la cantidad diaria promedio proyectada de desechos hospitalarios, se necesitaría de una autoclave con una capacidad de 100-165 kg/CICLO:



**Figura 13.** Autoclave.

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA

### Recursos

**Tabla 15.** Recursos

DESCRIPCIÓN	COSTO
Recurso tecnológico (Autoclave)	350.000,00
Infraestructura	15.000,00
<b>COSTO DE IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>365.000,00</b>
Recurso humano	17.000,00 /anual
Insumos (electricidad, agua, combustible)	50.000,00 /anual
Mantenimiento	10.000,00 /anual
<b>COSTO DE OPERACIÓN ANUAL</b>	<b>77.000,00</b>

**Fuente:** Elaborado por el autor.

### Evaluación

Debe determinarse si los desechos hospitalarios, después de ser sometidos al tratamiento, están completamente inertes y su volumen se ve reducido en un 80%. Con el tratamiento adecuado estos llegan a ser desechos comunes y son depositados en las plataformas de desechos comunes.

Actualmente en el Relleno Sanitario el costo anual de construcción, operación y mantenimiento de una celda de seguridad aproximadamente es de \$100.000,00 y la inversión para la implementación del tratamiento del autoclave es de \$ 365.000,00 con un costo de operación y mantenimiento anual de \$ 77.000,00. Al comparar estos costos tanto de la celda de seguridad como del autoclave, se determina que el autoclave es una inversión a largo tiempo ya que los equipos tienen una vida útil de 20 años y su operación y mantenimiento anual es menor al costo de una celda de seguridad; con respecto al beneficio ambiental, los desechos hospitalarios al ser sometidos a un tratamiento térmico estos se convierten en desechos no peligrosos siendo innecesario la construcción de celdas de seguridad, las mismas que se requiere de grandes extensiones de terrenos y al ser clausuradas estos sitios se convierten en pasivos ambientales que pueden provocar serias consecuencias debido a la transferencia de contaminantes a los componentes ambiental y social.

## CAPÍTULO V

### 5.1. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- ❖ Se logró recopilar los datos de manera directa del sistema SIPECA que maneja la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato EPM GIDSA, los mismos que son registrados de manera diaria al ingreso del relleno sanitario.
- ❖ Se determinó la importancia de las variables para lograr estimar la generación prospectiva de los desechos hospitalarios generados en el cantón Ambato, siendo la variable dependiente la masa de los desechos sólidos recolectados mensualmente medidos en kilogramos y la variable independiente el tiempo medido en meses.
- ❖ Con las variables adecuadas y mediante la metodología propuesta por Box-Jenkins se logró construir un modelo matemático que permite analizar, explicar, describir y predecir satisfactoriamente la serie de tiempo de desechos sólidos recolectados mensualmente en el cantón Ambato. El modelo que se desarrolló fue un SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] cuya ecuación de pronósticos es:  $\Delta \hat{Y}_t = -0.326 Y_{t-1} + 0.992 Y_{t-12} + 0.7882 \epsilon_{t-1} + 0.8934 \epsilon_{t-12} + \epsilon_t$ .
- ❖ Con la proyección realizada sobre la cantidad de desechos sólidos hospitalarios a ser depositados en el relleno sanitario, se identificó que las celdas de seguridad para la disposición final de estos desechos ocupan un excesivo volumen en el relleno sanitario, por lo cual se propone utilizar la tecnología del autoclave como un tratamiento para los desechos sólidos hospitalarios, con la cual se logra convertirlos en residuos inertes y reducir su volumen en un 80%.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda utilizar los modelos SARIMA, debido a que emplean tanto la parte estacionaria como estacional de una serie de tiempo, y pueden ser más precisos en las predicciones.
- ✓ Se sugiere utilizar el modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12] de manera periódica con el objetivo de obtener datos actualizados del pronóstico y así lograr determinar el comportamiento que tendrá la recolección mensual de desechos sólidos hospitalarios.
- ✓ Para garantizar que los desechos hospitalarios sean manejados de manera óptima, se recomienda a la Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato EPM GIDSA, que se de tratamiento a este tipo de desechos mediante el equipo de autoclave, garantizando así la seguridad del trabajador, la protección de la salud y el ambiente.
- ✓ Se recomienda que cuando se realice el tratamiento térmico de los desechos hospitalarios que se lleva con el equipo de autoclave se cree una base de datos sobre el volumen de los desechos tratados y la eficiencia de esterilización, con la finalidad de verificar los niveles de calidad del tratamiento, y de esta manera cumplir con la normativa ambiental vigente.

### 5.3. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. López, «Desarrollo de un modelo mredictivo para la estimación del comportamiento de variables en una infraestructura de red,» *Scielo*, vol. 26, nº 5, p. 11, 2015.
- [2] D. Villazón, «Análisis en series de tiempo para el pronóstico de sequía en la región noroeste del estado de Chihuahua,» *Scielo*, vol. 3, nº 9, p. 11, 2016.
- [3] E. Ortega, «Pronóstico de las defunciones en la República de Panamá utilizando la metodología Arima o Box - Jenkins para los años 2010 - 2013,» *Revista Científica Centros*, vol. 5, nº 1, p. 11, 2021.
- [4] S. Eduardo, «Aplicación de un Modelo Arima para pronosticar la producción de leche de bovino en Baja California, México,» *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 16, nº 3, p. 12, 2013.
- [5] O. Hernández, «Modelos ARIMA y estructural de la serie de precios promedio de los contratos en el mercado mayorista de energía eléctrica en Colombia,» *Revista del Instituto de Energía*, vol. 1, nº 34, p. 8, 2005.
- [6] G. Amaris, «Aplicación de modelo ARIMA para el análisis de series de volúmenes anuales en el río Magdalena,» *Tecnura*, vol. 21, nº 52, p. 15, 2017.
- [7] J. Miranda, «Pronóstico de la tendencia nacional y regional de las enfermedades diarreicas agudas en menores de cinco años de edad en el Perú mediante un modelo ARIMA con el enfoque Box-Jenkins,» *Revista Peruana de Epidemiología*, vol. 14, nº 1, p. 9, 2010.
- [8] J. Aldaz, J. García y R. Quiñores, «Parvovirus canina en la provincia Bolívar, Ecuador. Utilidad de los modelos Box-Jenkins para su análisis y predicción,» *Scielo*, vol. 34, nº 3, pp. 165-172, 2012.
- [9] M. Gisele, «Utilización de modelos ARIMA para la vigilancia de enfermedades transmisibles,» *Revista Cubana Salud Pública*, vol. 33, nº 2, p. 15, 2007.

- [10] A. Parisi, L. Rivas y Ó. Trujillo, «Predicción de variaciones en el precio del petróleo con el modelo de optimización arima, innovando con fuerza bruta operacional,» *Scielo*, vol. 13, n° 1, p. 13, 2019.
- [11] J. Del Pozo, L. Fernández y P. Zamora, «El papel de las series temporales y los modelos autoregresivos (ARIMA) para la vigilancia sindrómica en la sanidad agropecuaria,» *Anuario Ciencia de la UNAH*, vol. 17, n° 1, p. 11, 2019.
- [12] T. Aguilar y D. Martín, «Perspectivas de inflación en Bolivia,» *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico "Scielo"*, vol. 23, n° 12, p. 32, 2012.
- [13] D. Broz y V. Viego, «Predicción de precios de productos de Pinus spp. con modelos ARIMA,» *Scielo Analytics*, vol. 20, n° 1, p. 15, 2014.
- [14] N. Gallego, A. Rodríguez, N. Mínguez y F. Jiménez, «Modelos ARIMA para la predicción del gasto conjunto de oxígeno de vuelo y otros gases en el Ejército del Aire,» *Sanidad Militar*, vol. 74, n° 4, p. 13, 2018.
- [15] P. Maldonado, Artist, *Diseño de un modelo matemático estocástico para analizar la información hídrica y predecir las inundaciones*. [Art]. Universidad Técnica Particular de Loja, 2018.
- [16] J. Angulo, Artist, *Modelo ARIMA para el pronóstico de la liquidez monetaria mensual en el sistema financiero peruano*. [Art]. Universidad Nacional de Trujillo, 2016.
- [17] F. Vásquez, Artist, *Modelo de Box y Jenkins y redes neuronales para pronosticar el precio del dólar del sistema bancario en moneda nacional año 2015*. [Art]. Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", 2017.
- [18] D. Sánchez, Artist, *Modelo ARIMA para el pronóstico de la producción de cacao en el Perú 2012-2018*. [Art]. Universidad Nacional de Trujillo, 2018.
- [19] J. Quispe, Artist, *Modelo univariante para el consumo de energía eléctrica Doméstica en el Distrito de Ayaviri – Electro Puno, periodo 2004- 2013*. [Art]. Universidad Nacional del Altiplano, 2015.

- [20] C. Sánchez, Artist, *Modelo matemático de la producción de la empresa Salinerito en la provincia Bolívar*. [Art]. Universidad Técnica de Ambato, 2021.
- [21] M. R. Johannes Vera, «Caracterización de Manejo de Desechos Hospitalarios Infecciosos,» *Universidada Politécnica Salesiana* , vol. 1, p. 198, 2012.
- [22] G. M. d. Ambato, «Ordenanza para Manejo Integral de los Residuos Sólidos en el Cantón Ambato,» Página Web GADMA , Ambato, 2017.
- [23] M. d. S. Pública, «REGLAMENTO GESTION DESECHOS GENERADOS EN ESTABLECIMIENTOS DE SALUD,» Lexis Finder, Quito, 2019.
- [24] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Cuarta ed., Madrid: Pearson Educación, 2003, p. 965.
- [25] D. Gujarati y D. Ponter, Econometrical, 5Ta ed., México: MgGraw-Hill, 2010, p. 52.
- [26] J. Faraway y C. Chatfiel, Time series forecasting with neural networks, a compartive study using the airline data, Estado Unidos: Applied Statistic, 1998.
- [27] P. Pérez, Artist, *Desarrollo de un modelo de estimación de depósitos*. [Art]. Universidad Andina Simón Bolívar sede Ecuador, 2017.
- [28] M. Quesada, Artist, *Análisis de Series, modelos heterocedásticos*. [Art]. Universitas Granatensis, 2013.
- [29] P. Muñoz, L. Muñoz y T. Sánchez, «Estudio de potencia de pruebas de normalidad usando distribuciones desconocidas con distintos niveles de no normalidad.,» *Perfiles* , vol. 21, n° 1, p. 8, 2019.
- [30] M. Naghi, Metodología de la investigación, México: Editorial Limusa, 2000.
- [31] C. Bernal, Metodología de la investigación: para administración, economía, humanidades y ciencias sociales, Colombia : Pearson Educación, 2006.
- [32] J. Hurtado, Metodología de la investigación holística, Caracas: Sypal, 2000.

- [33] J. Arnau, Diseños de series temporales: Técnicas de Análisis, España - Barcelona: Edicions Universitat Barcelona, 2001.
- [34] P. Jara, Las series temporales: aplicación de los modelos ARIMA para el análisis de la sintomatología del cic, España - Barcelona: Universitat Jaume , 2000.
- [35] H. Brito, «Manejo de residuos sanitarios en la ciudad de Riobamba,» *Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo ESPOCH*, vol. 1, pp. 1-8, 2018.
- [36] ECODAS, «ECODAS sus residuos bajo control,» [En línea]. Available: <https://www.ecodas.com/es/ecodas-es/>. [Último acceso: 19 Noviembre 2020].

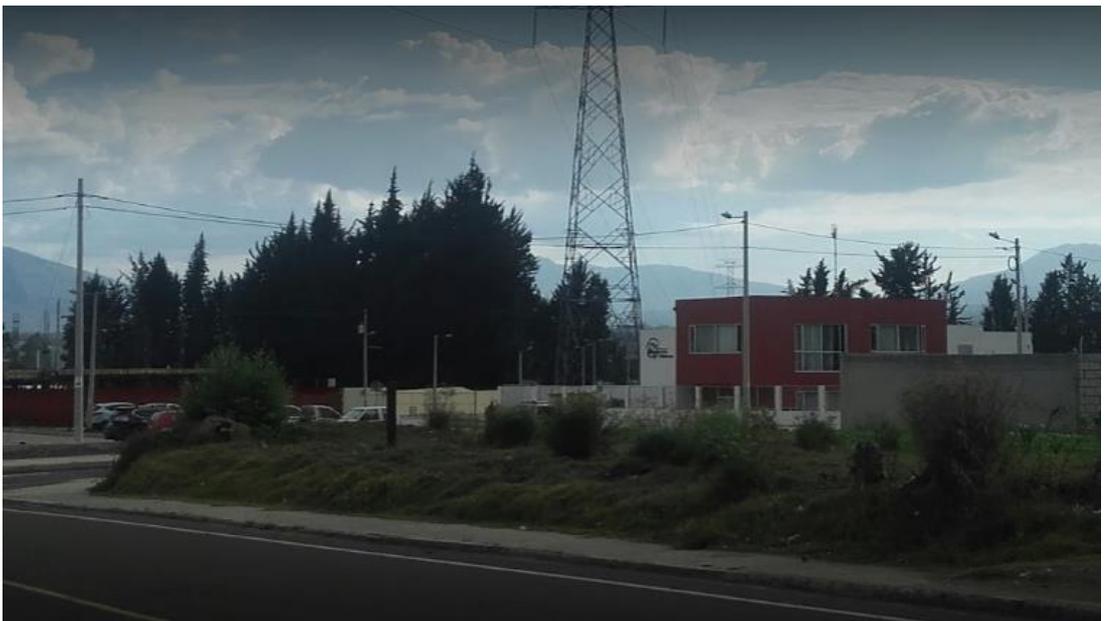
## 5.4. ANEXOS

### Ciudad de Ambato.



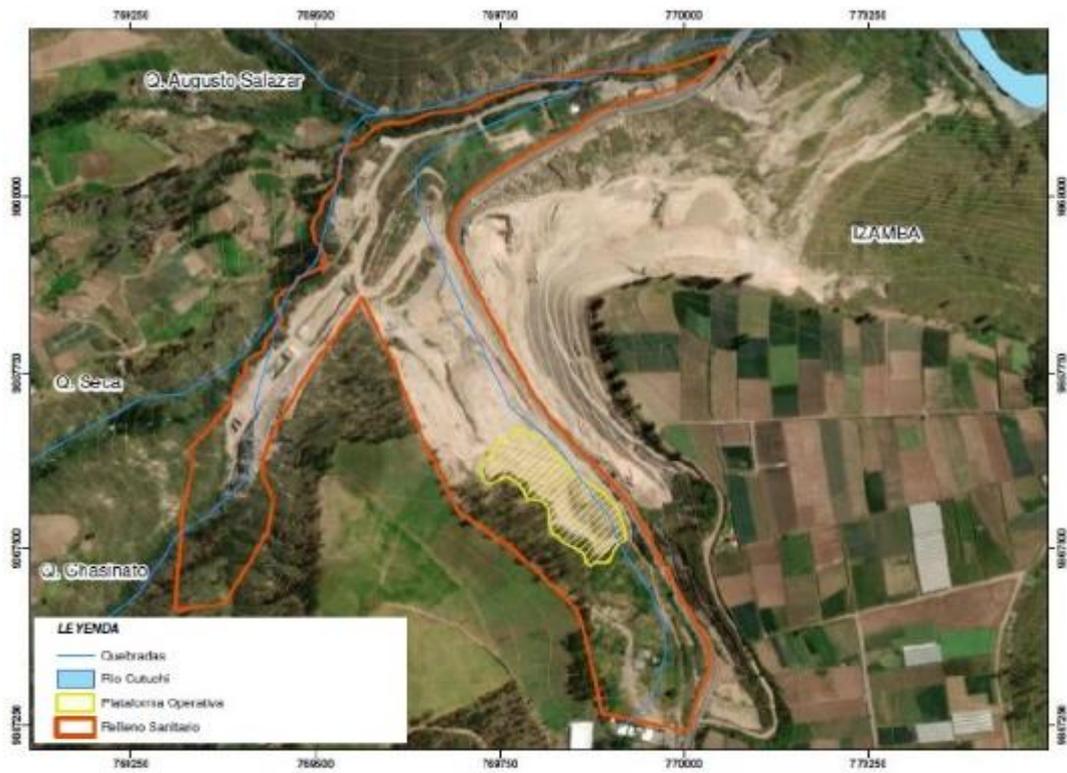
**Figura 14.** Fotografía de la ciudad de Ambato  
**Fuente:** EPM GIDSA

### Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato



**Figura 15.** Predios de la Empresa Pública Municipal de Desechos Sólidos de Ambato  
**Fuente:** EPM GIDSA

## Ubicación del relleno sanitario



**Figura 16.** Ubicación del relleno sanitario.

**Fuente:** EPM GIDSA

## Celdas de los desechos sólidos hospitalarios



**Figura 17.** Celda de desechos sólidos sanitarios.

**Fuente:** EPM GIDSA

### Carro recolector y toma de datos de los desechos sólidos hospitalarios



**Figura 18.** Carro recolector y toma de datos de los desechos sólidos hospitalarios.  
**Fuente:** EPM GIDSA

### Disposición final de desechos sólidos hospitalarios



**Figura 19.** Disposición final de desechos sólidos hospitalarios  
**Fuente:** EPM GIDSA

### Base de desechos sólidos recolectados mensualmente.

MESES	Peso_kg
1 Enero	27046.0
2 Febrero	25520.8
3 Marzo	27634.0
4 Abril	24730.0
5 Mayo	27650.0
6 Junio	24624.0
7 Julio	23452.0
8 Agosto	26384.0
9 Septiembre	22272.0
10 Octubre	22068.0
11 Noviembre	28028.0
12 Diciembre	23768.0
13 Enero	26990.0
14 Febrero	27074.0
15 Marzo	27100.0
16 Abril	24730.0
17 Mayo	27650.0
18 Junio	23090.0
19 Julio	22140.0
20 Agosto	23920.0
21 Septiembre	21830.0
22 Octubre	20650.0
23 Noviembre	25890.0
24 Diciembre	21950.0
25 Enero	24500.0
26 Febrero	23310.0
27 Marzo	23680.0
28 Abril	28800.0
29 Mayo	22280.0
30 Junio	21560.0
31 Julio	23070.0
32 Agosto	26300.0
33 Septiembre	20650.0
34 Octubre	21300.0
35 Noviembre	25780.0
36 Diciembre	21070.0
37 Enero	22540.0
38 Febrero	24090.0
39 Marzo	29190.0
40 Abril	22660.0
41 Mayo	25600.0
42 Junio	25930.0
43 Julio	21080.0
44 Agosto	24310.0
45 Septiembre	21960.0
46 Octubre	22230.0
47 Noviembre	27400.0
48 Diciembre	24970.0
49 Enero	27480.0
50 Febrero	26620.0
51 Marzo	31570.0
52 Abril	23480.0
53 Mayo	29850.0
54 Junio	25840.0
55 Julio	25520.0
56 Agosto	30430.0
57 Septiembre	22460.0
58 Octubre	22320.0
59 Noviembre	30030.0
60 Diciembre	24610.0
61 Enero	33720.0
62 Febrero	26510.0
63 Marzo	26630.0

**Figura 20.** Base de datos de desechos sólidos recolectados mensualmente.

**Fuente:** EPM GIDSA

## Script del Modelo Matemático

```
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
datapesos x Ts desechos.R* x
Source on Save Run Source
1 #LIBRERIAS A UTILIZAR
2 version
3 library(ggplot2)
4 library(tseries)
5 library(forecast)
6 library(TSstudio)
7 library(GGally)
8 library(ggfortify)
9 library(lmtest)
10 # AUTOR
11 #ING. LILIANA ROCÍO BASTIDAS SARABIA
12 # MAESTRANTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
13 |
14 attach(datapesos)
15 names(datapesos)
16 str(datapesos)
17
18 #####PESOS POR SEMANA #####
19 #TRANSFORMAR DE LA SERIE HISTORICA DE PESOS POR SEMANA
20
21 pesos <- ts (datapesos$Peso_kg, start = c(2014,1), frequency = 12)
22 pesos
23
24 #ETAPA 1. IDENTIFICACIÓN
25 #PRIMERA CARACTERÍSTICA DE LA ETAPA 1
26 #DETERMINACIÓN DE ESTACIONARIEDAD EN LA SERIE
27
28 #GRÁFICO DE LA SERIE DE TIEMPO DE PESOS
29 plot(pesos, ylab= "DESECHOS SOLIDOS", xlab= "TIEMPO",
30      main = " GENERACIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS MENSUALES",
31      col= "blue", lwd = "2")
32 abline(h = mean(pesos), col = "red", lty = "dashed", lwd = "2")
33
34 #PRUEBA DE RAIZ UNITARIA
35 #Ho >= 0.05 SERIE NO ESTACIONARIA
36 #Ha < 0.05 SERIE ESTACIONARIA
37 #test de Dickey-Fuller
38 adf.test(pesos, alternative = "stationary")
39
40 # CARACTERISTICAS DE LA SERIE DE TIEMPO (TENDENCIA Y ESTACIONALIDAD)
41 dec <- decompose(pesos)
42 autoplot(dec, colour = "blue", lwd = "2") +
43   labs(title= "DESCOMPOSICIÓN DE LA SERIE DESECHOS SÓLIDOS",
44        x = "TIEMPO",y = "DESECHOS",colour = "blue09") + theme_bw()
45
46 #NUMERO DE DIFERENCIACIONES A REALIZAR
47 ndiffs(pesos) # 1 diferencia parte regular
48 nsdiffs(pesos) #parte estacional 0 diferencias
49
50 #DIFERENCIACION PARA ESTACIONARIEDAD
51 peso1 <- diff(pesos)
52
53 # GRÁFICO DE LA SERIE DE TIEMPO ESTACIONARIA
54 par(mfrow = c(2,1))
55 plot(peso1, xlab = "TIEMPO",ylab= "DESECHOS SÓLIDOS",
56      main = "COMPORTAMIENTO DE LOS DESECHOS MENSUALES",
57      lwd = "2", col= "blue")
58 abline(h = mean(peso1), col = "red", lty = "dashed", lwd = "2")
59
60 #DESCOMPOSICIÓN A LA PRIMERA DIFERENCIA
61 dec1 <- decompose(peso1)
62 autoplot(peso1, colour = "blue", series = "SERIE")+
63   autolayer(trendcycle(dec1),series = "TENDENCIA")+
64   labs(title = "TENDENCIA", x = "TIEMPO",
65        y = "DESECHOS")+ theme_bw()
66
67 #test de Dickey-Fuller
68 adf.test(peso1, alternative = "stationary")
```

```

68 adf.test(peso1, alternative = "stationary")
69
70 #SEGUNDA CARACTERÍSTICA DE LA ETAPA 1
71 #CORRELOGRAMAS PARTE ESTACIONAL
72 par(mfrow = c(2,2))
73 acf(ts(pesos, frequency = 1),col = "blue", lwd = "2",
74     main = "MEDIAS MÓVILES ESTACIONALES") #q= 0 a 2
75 pacf(ts(pesos,frequency = 1), col = "blue", lwd = "2",
76     main = "AUTORREGRESIVOS ESTACIONALES") # p= 0 a 2
77
78 #CORRELOGRAMAS PARA ENCONTRAR LOS PARAMETROS DEL MODELO
79 acf(ts(peso1, frequency = 1),col = "blue", lwd = "2",
80     main = "MEDIAS MÓVILES ESTACIONARIAS") # q = de 0 a 2
81 pacf(ts(peso1, frequency = 1),col = "blue", lwd = "2",
82     main = "AUTORREGRESIVOS ESTACIONARIOS")# p = 0 a 1
83
84 #MODELO AUTOARIMA
85
86 auto.arima(pesos)
87
88 # IDENTIFICACIÓN DE LOS PARAMETROS DEL MODELO
89
90 ##auto.arima(0,1,2)(1,0,0)   AIC= 1381.41;   ECM= 6508397;
91 ##Mod2 (1,1,1)(1,0,1)      AIC= 1379.85;   ECM= 5423306;
92 ##Mod3 (0,1,1)(0,0,1)     AIC= 1388.13;   ECM= 7385946;
93 ##Mod4 (2,1,0)(1,0,1)     AIC= 1380.41;   ECM= 5524506;
94 ##Mod5 (1,1,2)(2,0,2)     AIC= 1381.32;   ECM= 5523204;
95 ##Mod6 (0,1,2)(2,0,1)     AIC= 1381.32;   ECM= 5523204;
96
97 #MODELO SARIMA
98 Mod2 <- Arima(pesos, order = c(1, 1, 1), seasonal = c(1,0,1))
99 Mod2
100
101 #ETAPA 2. ESTIMACION DE LOS PARAMETROS
102 #RESUMEN DEL MODELO
103 summary(Mod2)
104
105 #SIGNIFICANCIA DE LOS PARAMETROS
106 coeftest(Mod2)
107
108 #ETAPA 3. EVALUACIÓN DEL MODELO
109 #PRUEBA DE VALIDEZ DE RUIDO BLANCO
110 checkresiduals(Mod2, color= "blue")
111
112 #DIAGNÓSTICO DEL MODELO
113 tsdiag(Mod2)
114
115 #PRUEBA DE NORMALIDAD DE KOLMOGOROV-SMIRNOV
116 # COMO LOS DATOS SON SUPERIOR A 50 SE UTILIZA LA PRUEBA DE KOLMOGOROV
117 #Ho: EXISTE NORMALIDAD SI p-value >= 0.05
118 #Ha: NO EXISTE NORMALIDAD SI p-value < 0.05
119 ks.test(residuals(Mod2),pnorm, mean(residuals(Mod2)), sd(residuals(Mod2)))
120
121 # PRUEBA DE LJUNG- BOX
122 #Ho: EXISTE RUIDO BLANCO SI p-value >= 0.05
123 #Ha NO EXISTE RUIDO BALNCO S p-value < 0.05
124 Box.test(residuals(Mod2), type= "Ljung-Box")
125
126
127 # ENTRENAMIENTO
128 #SEPARAMOS UNA SERIE TRAIN Y SERIE TEST
129
130 serie_train <- window(pesos, end = c(2019, 6),frequency = 12)
131 serie_test <- window(pesos, start = c(2019, 7),frequency = 12)
132
133 # VALIDACION DEL MODELO CON PREDICCIONES ANTERIORES
134
135 mod <-Arima(serie_train, order = c(1, 1, 1), seasonal = c(1,0,1))
136 mod
137
138 pred <- forecast(mod, h = 9)
139 pred

```

```

140 round(accuracy(pred, serie_test),2)
141
142
143 autoplot(pesos) +
144   autolayer(fitted(mod), series="AJUSTADOS") +
145   autolayer(pred, series="PRONÓSTICO", PI = F) +
146   xlab("TIEMPO") + ylab("DESECHOS") +
147   ggtitle("DESECHOS SÓLIDOS GENERADOS MENSUALMENTE",
148           subtitle = "METODO ARIMA(1,1,1)(1,0,1)[12]")+ theme_bw()
149 # PRONOSTICOS
150
151 #PREDECIR LAS CANTIDADES DE KILOGRAMOS A PRODUCIR
152
153 predecir <- forecast(Mod2, h = 12)
154 predecir
155
156 # GRAFICO DE LAS PREDICCIONES
157 plot(predecir, xlab = "TIEMPO", ylab = "DESECHOS",
158      main = "DESECHOS SÓLIDOS
159           MÉTODO SARIMA(1,1,1)(1,0,1)[12]", lwd ="2")
160
161

```

**Figura 21.** Script del modelo SARIMA (1, 1, 1) (1, 0, 1) [12].

**Fuente:** Elaborado por el autor con los datos de la empresa EPM-GIDSA.