



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica industrial

**PROCESO DE MODELAJE BOX-JENKINS DE UNA VARIABLE (UBJ-  
ARIMA) PARA EL PRONÓSTICO DEL VOLUMEN TOTAL DE  
IMPORTACIONES DE CAFÉ PARA CONSUMO DENTRO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMERICA DE ENERO DE 1970 A ENERO DE 1983**

**Hugo Scheel Aguilar**

Asesorado por el Ing. Roger Fernando Dardón Flores

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO DE MODELAJE BOX-JENKINS DE UNA VARIABLE (UBJ-  
ARIMA) PARA EL PRONÓSTICO DEL VOLUMEN TOTAL DE  
IMPORTACIONES DE CAFÉ PARA CONSUMO DENTRO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMERICA DE ENERO DE 1970 A ENERO DE 1983**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HUGO SCHEEL AGUILAR**

ASESORADO POR EL ING. ROGER FERNANDO DARDÓN FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Cristian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. César Augusto Fernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Oswaldo Cabrera Meza
EXAMINADOR	Ing. Augusto Joaquín Grajeda Aldana
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Alvarez de León
SECRETARIO	Ing. Manuel de Jesús Castellanos Dubón

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROCESO DE MODELAJE BOX-JENKINS DE UNA VARIABLE (UBJ-  
ARIMA) PARA EL PRONÓSTICO DEL VOLUMEN TOTAL DE  
IMPORTACIONES DE CAFÉ PARA CONSUMO DENTRO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA DE ENERO DE 1970 A ENERO DE 1983**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 31 de agosto de 2018



Hugo Scheel Aguilar

Guatemala 26 de abril de 2019

Ingeniero

Juan José Peralta Dardon  
Director de Escuela  
Ingeniería Mecánica Industrial

Estimado Ing. Peralta:

De la manera más atenta me dirijo a Ud., para indicarle que doy por concluido aprobado el trabajo de tesis del estudiante Hugo Scheel Aguilar previo a optar al título de Ingeniero Industrial. El título final de la tesis es:

**PROCESO DE MODELAJE BOX-JENKINS DE UNA VARIABLE (UBJ-ARIMA)  
PARA EL PRONÓSTICO DEL VOLUMEN TOTAL DE IMPORTACIONES DE CAFÉ  
PARA CONSUMO DENTRO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA DE ENERO  
DE 1970 A ENERO DE 1983.**

Sin otro particular, me suscribo de Ud.

Atentamente,



Fernando Dardón Flores  
Ingeniero Industrial  
Colegiado No. 5912


Ing. Roger Fernando Dardon Flores  
Colegiado No 5912.



REF.REV.EMI.063.019

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROCESO DE MODELAJE BOX-JENKINS DE UNA VARIABLE (UBJ\_ARIMA) PARA EL PRONÓSTICO DEL VOLUMEN TOTAL DE IMPORTACIONES DE CAFÉ PARA CONSUMO DENTRO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA DE ENERO DE 1970 A ENERO 1983**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Scheel Aguilar**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Victor Hugo García Roque  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2019.

/mgp



REF.DIR.EMI.102.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor **PROCESO DE MODELAJE BOX-JENKINS DE UNA VARIABLE (UBJ\_ARIMA) PARA EL PRONÓSTICO DEL VOLUMEN TOTAL DE IMPORTACIONES DE CAFÉ PARA CONSUMO DENTRO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA DE ENERO 1970 A ENERO 1983**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Scheel Aguilar**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. César Ernesto Urquizu Rodas  
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2019.

/mgp



DTG. 331.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **PROCESO DE MODELAJE BOX-JENKINS DE UNA VARIABLE (UBJ\_ARIMA) PARA EL PRONÓSTICO DEL VOLUMEN TOTAL DE IMPORTACIONES DE CAFÉ PARA CONSUMO DENTRO DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA DE ENERO DE 1970 A ENERO DE 1983**, presentado por el estudiante universitario: **Hugo Scheel Aguilar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, septiembre de 2019

/gdech







## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Gran Arquitecto del Universo.
<b>La Memoria de Mis Padres</b>	German Scheel Aguilar y Delia Aída del Rosario Aguilar Polanco de Scheel.
<b>Mi esposa</b>	Evelyn Aída Holtmann Fernández de Scheel.
<b>Mis hijos</b>	Andrés, Adam, Stefan y Walter Scheel Holtmann.
<b>Mis hermanos</b>	Norma Beatriz, Odette y Fausto Scheel Aguilar.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Todas las personas**

Que contribuyeron a mi formación académica, directa o indirectamente, así como a quienes me apoyaron para concluir esta etapa en mi desarrollo profesional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. La empresa.....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2. Historia .....	1
1.1.2.1. Visión.....	2
1.1.2.2. Misión .....	2
1.1.2.3. Valores .....	2
1.1.2.4. Organigrama.....	3
1.1.2.5. Descripción de puestos .....	3
1.1.2.5.1. Junta de Accionistas .....	3
1.1.2.5.2. Gerencia General.....	4
1.1.2.5.3. Administración .....	4
1.1.2.5.4. Logística .....	4
1.1.2.5.5. Mercadeo y Ventas .....	4
1.1.2.5.6. Recursos Humanos .....	4
1.1.2.6. Paradigma cultural.....	5
1.2. La Ley de la Demanda.....	5

1.2.1.	Definición.....	6
1.2.2.	Implicaciones teóricas .....	6
1.2.3.	Implicaciones prácticas .....	7
1.2.3.1.	Marginalidad.....	7
1.2.3.2.	Criterio de optimización.....	7
1.2.4.	La conducta humana.....	8
1.2.4.1.	Preferencias .....	8
1.2.4.2.	Función de utilidad .....	8
1.2.4.3.	Retornos decrecientes .....	9
1.3.	Teoría moderna de finanzas corporativas .....	9
1.3.1.	Mercados eficientes .....	11
1.3.2.	Variables clave .....	11
1.3.2.1.	Información.....	11
1.3.2.2.	Competencia libre .....	11
1.3.2.3.	Cumplimiento de regulación clara .....	11
1.3.2.4.	Ciencia y tecnología .....	12
1.3.3.	Tendencia de los precios.....	12
1.4.	Efecto del clima.....	12
1.4.1.	Definición.....	12
1.4.2.	Implicaciones prácticas .....	13
1.5.	Pronósticos .....	13
1.5.1.	Definición.....	13
1.5.2.	Características .....	14
1.5.2.1.	La exactitud.....	14
1.5.2.2.	Estabilidad vrs respuesta .....	14
1.5.2.3.	Objetividad .....	14
1.5.2.4.	Tiempo requerido para pronosticar .....	14
1.5.3.	Tipos de pronósticos .....	15
1.5.3.1.	Pronósticos cualitativos.....	15

	1.5.3.2.	Pronósticos cuantitativos .....	15
		1.5.3.2.1. Modelos causales .....	15
		1.5.3.2.2. Modelos de series de tiempo.....	15
	1.5.3.3.	Pasos en la elaboración de un pronóstico .....	16
	1.5.4.	Principales aplicaciones .....	17
1.6.		Modelos Box-Jenkins .....	17
	1.6.1.	Definición .....	17
	1.6.2.	Nomenclatura .....	18
	1.6.3.	Clasificación de modelos .....	18
		1.6.3.1. Modelos estacionarios .....	18
		1.6.3.2. Modelos no estacionarios .....	18
1.7.		El café en Guatemala .....	18
	1.7.1.	Historia .....	19
	1.7.2.	Importancia económica.....	19
2.		DIAGNÓSTICO SITUACIONAL .....	21
	2.1.	Series de datos cronológicos.....	21
		2.1.1. Serie de tiempo.....	21
		2.1.2. Periodo seleccionado .....	23
	2.2.	Modelos UBJ .....	23
		2.2.1. Descripción .....	23
		2.2.2. Autoregresión .....	25
		2.2.3. Promedio móvil .....	25
	2.3.	Procedimiento del modelaje Box-Jenkins .....	25
		2.3.1. Identificación.....	26
		2.3.2. Estimación .....	26
		2.3.3. Diagnóstico .....	26



2.4.	Series de datos diferenciada.....	27
2.4.1.	Definición.....	27
2.4.2.	Serie estacionaria.....	28
2.4.2.1.	Promedio.....	28
2.4.2.2.	Varianza.....	28
2.5.	Estimación de Autocorrelaciones.....	29
2.5.1.	Función estimada de autocorrelación (acf).....	29
2.5.2.	Función estimada de autocorrelación parcial (pacf).....	29
3.	PROPUESTA PARA MODELAR LOS PROCESOS ARIMA.....	31
3.1.	Proceso AR.....	31
3.1.1.	Notación.....	31
3.1.2.	Autoregresión.....	31
3.2.	Proceso MA.....	31
3.2.1.	Notación.....	32
3.2.2.	Promedio móvil.....	32
3.3.	Procesos ARIMA.....	32
3.3.1.	Procesos comunes.....	32
3.3.1.1.	Procesos AR(1).....	32
3.3.1.2.	Procesos MA(1).....	33
3.3.1.3.	Otros tres procesos comunes.....	33
3.3.2.	Notación ARIMA (p,d,q).....	33
3.4.	Modelos estacionales.....	34
3.4.1.	Descripción.....	34
3.4.1.1.	Función de autocorrelación.....	34
3.4.1.2.	Función parcial de autocorrelación.....	34
3.4.2.	Notación.....	35
3.4.2.1.	Orden estacionario (p,d,q).....	35
3.4.2.2.	Orden estacional (P,D,Q) <sub>s</sub> .....	35

3.4.3.	Modelos ARIMA (p,d,q ) (P,D,Q) <sub>s</sub> .....	35
3.5.	Características de un buen modelo UBJ-ARIMA.....	35
3.5.1.	Criterio parsimonioso.....	36
3.5.2.	Coeficientes AR.....	36
3.5.3.	Coeficientes MA.....	36
3.5.4.	Calidad de Coeficientes.....	36
3.5.5.	Independencia residual.....	37
3.5.6.	Representación adecuada de la observación .....	37
3.5.7.	Pronósticos satisfactorios .....	37
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	39
4.1.	Plan de acción .....	39
4.1.1.	Entidades responsables .....	39
4.1.1.1.	Gerencia General .....	39
4.1.1.2.	Mercadeo y Ventas.....	39
4.1.1.3.	Finanzas .....	40
4.1.1.4.	Logística .....	40
4.2.	Implementación del plan.....	40
4.2.1.	Serie de datos.....	40
4.2.2.	Análisis de la serie de tiempo .....	41
4.2.3.	Serie de datos diferenciada .....	42
4.2.3.1.	Primera diferenciación .....	42
4.2.3.2.	Segunda diferenciación .....	43
4.2.3.3.	Tercera diferenciación .....	43
4.2.3.4.	Diferenciación cada 36 observaciones	44
4.2.4.	Relación con observaciones anteriores .....	45
4.2.4.1.	Relación con la observación del mes anterior .....	45
4.2.4.2.	Relación con la observación dos periodos antes .....	46

4.2.4.3.	Relación con las observaciones de tres meses antes .....	46
4.2.4.4.	Relación con observaciones de tres años anteriores.....	47
4.3.	Funciones de autocorrelación teóricas.....	48
4.3.1.	Modelos AR(1) .....	48
4.3.2.	Modelos MA(1) .....	49
4.4.	Función estimada de autocorrelación (acf). .....	50
4.4.1.	Diferenciación.....	50
4.4.2.	Modelo AR(2) .....	51
4.4.2.1.	Componente estacional.....	52
4.4.3.	Análisis del componente estocástico de la serie ....	52
4.4.3.1.	Transformación de la serie de datos ...	52
4.5.	Función estimada de autocorrelación parcial (pacf).....	54
4.5.1.	Modelo MA(2).....	55
5.	MEJORA CONTINUA .....	57
5.1.	Resultados obtenidos.....	57
5.1.1.	Interpretación y análisis.....	58
5.1.2.	Aplicación .....	59
5.1.3.	Administración del modelo .....	61
5.2.	Ventajas y beneficios .....	61
5.2.1.	Administrativas .....	61
5.2.2.	Estratégicas.....	62
5.2.3.	Económicas.....	62
5.3.	Costos .....	62
5.3.1.	Incrementalidad.....	62
5.4.	Acciones correctivas .....	63
5.4.1.	Gerencia.....	63

5.4.2.	Mercadeo y Ventas.....	63
5.4.3.	Logística .....	63
5.4.4.	Finanzas .....	63
5.5.	Seguimiento.....	64
5.5.1.	Gerencia .....	64
5.5.2.	Mercadeo y Ventas.....	64
5.5.3.	Logística .....	64
5.5.4.	Acciones correctivas.....	64
CONCLUSIONES .....		65
RECOMENDACIONES.....		67
BIBLIOGRAFÍA.....		69



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Organigrama ejecutivo de la empresa agro-industrial Handel S.A., Guatemala.....	3
2.	La Ley de la Demanda .....	6
3.	Funciones de utilidad o valor.....	9
4.	Relación entre proceso, realización y modelo.....	24
5.	Pasos del enfoque iterativo para la construcción de modelos Box-Jenkins.....	27
6.	Importaciones de café dentro de EE. UU. (miles de sacos de 60 Kg)..	41
7.	Primera diferenciación de la serie de datos de la tabla I.....	42
8.	Segunda diferenciación de la serie de datos de la tabla I.....	43
9.	Tercera diferenciación de la serie de datos de la tabla I.....	44
10.	Diferenciación cada 36 observaciones de la serie de datos de la tabla I.....	44
11.	Representación de la relación de las observaciones con la del mes anterior (miles de sacos de café de 60 Kg) .....	45
12.	Representación de la relación de las observaciones con la del mes anterior (miles de sacos de café de 60 Kg) .....	46
13.	Representación de la relación de las observaciones con aquella 3 meses antes (miles de sacos de café de 60 Kg).....	47
14.	Representación de la relación de las observaciones con aquella 36 meses antes (miles de sacos de café de 60 Kg).....	48
15.	Funciones teóricas acf y pacf para procesos estacionarios AR(1).....	49
16.	Funciones teóricas acf y pacf para procesos estacionarios MA(1) .....	50

17.	Función estimada de autocorrelación (acf) y los límites estadísticos inferiores y superiores (2 s.e.) .....	51
18.	Serie de datos de la tabla III (estandarización) (miles de sacos de café de 60 Kg) .....	54
19.	Función estimada de autocorrelación parcial (pacf) .....	54
20.	Modelo ARIMA (2,0,0)(1,0,0)36 .....	59
21.	Modelo AR(2).....	60
22.	Modelo MA(2) .....	60

## TABLAS

I.	Importaciones totales de café para consumo dentro de los Estados Unidos de América de enero 1970 a enero 1983 (Datos expresados en miles de sacos de 60 Kg.).....	22
II.	Características de un buen modelo ARIMA .....	37
III.	Transformación de la serie estacionaria presentada en la tabla I para enfocarse en la parte estocástica del proceso ( $a_t$ ) (Datos expresados en miles de sacos de 60 Kg.) .....	53
IV.	Resumen de las principales característica de los modelos evaluados .....	58

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (z_t - \bar{z})(z_{t+k} - \bar{z})}{\sum_{t=1}^n (z_t - \bar{z})^2}$	Coefficiente de correlación
$\check{z}_t = z_t - z_{t-1}$	Ecuación de diferenciación
AR (1): $\check{z}_t = C + \Phi_1 \check{z}_{t-1} + a_t$	Modelo autoregresivo de primer orden
MA (1): $\check{z}_t = C + \theta_1 a_{t-1} + a_t$	Modelo de promedio móvil de primer orden
AR (2): $\check{z}_t = C + \Phi_1 \check{z}_{t-1} + \Phi_2 \check{z}_{t-2} + a_t$	Modelo autoregresivo de segundo orden
MA (2): $\check{z}_t = C + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + a_t$	Modelo de promedio móvil de segundo orden
ARMA(1,1): $\check{z}_t = C + \Phi_1 \check{z}_{t-1} + \theta_1 a_{t-1} + a_t$	Modelo ARIMA de primer orden AR y MA, sin diferenciación





## GLOSARIO

<b>acf</b>	Auto-correlation function
<b>AR</b>	Auto-regressive
<b>ARIMA</b>	Auto-regressive integrated Moving Average
<b>ARIMA (p,d,q) (P,D,Q)</b>	p es el orden AR d es el número de diferenciaciones q es el orden MA P,D,Q orden que aplica para los términos estacionales
<b>Diminishing returns</b>	Retornos decrecientes
<b>MA</b>	Moving average
<b>pacf</b>	Partial auto-correlation function
<b>UBJ-ARIMA</b>	Univariate Box-Jenkins ARIMA



## RESUMEN

En esta tesis, la familia de modelos de pronóstico ARIMA (para series de datos cronológicos de una variable) se evalúa para los volúmenes de importación de café para consumo dentro de Estados Unidos. Se pretende identificar el efecto del clima (particularmente heladas en Brasil), y a partir del modelo inferir su impacto en los precios del mismo. Se revisan las teorías básicas, tanto económicas como financieras y relacionadas al tema, así como la habilidad que los modelos de pronóstico ARIMA tienen para, indirectamente pronosticar el efecto del clima (heladas), y alertar sobre sus consecuencias para la agroindustria del café y la economía de los países que producen dicho grano.

Los resultados de este estudio son consistentes con la evidencia empírica de extensos estudios realizados en los estudios pioneros de la Teoría Moderna de Finanzas (con información de las bolsas de valores), es decir, la información más reciente (últimas observaciones de la variable), son los mejores indicadores para pronosticar el futuro inmediato. Se detecta estadísticamente un impacto de las heladas del café en Brasil, pero no es un impacto que permita generar un mejor modelo, según los criterios UBJ-ARIMA, como tampoco una tendencia o efecto relevante para la construcción del modelo estadístico. Los volúmenes de importación de café están negativamente correlacionados con el precio del grano, los modelos seleccionados nos indican que probablemente, al igual que sucede con la proyección de volúmenes de importación, los niveles de precio internacionales del café, incorporan en sí mismos, la información disponible del mercado, por lo que no se puede sospechar la existencia de imperfecciones en dicho mercado, durante el periodo estudiado.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar el proceso de modelaje Box-Jenkins (UBJ-ARIMA) para el pronóstico del volumen total de importaciones de café para consumo de los Estados Unidos de América de enero de 1970 a enero de 1983.

### **Específicos**

1. Establecer si existen imperfecciones en el mercado internacional del café.
2. Establecer si existe la posibilidad de obtener ganancias por arriba de las normales en la comercialización de las exportaciones de café.
3. Desarrollar el modelo UBJ-ARIMA para el pronóstico de los volúmenes de importación de café para consumo dentro de los Estados Unidos de América.
4. Establecer la tendencia del impacto climático sobre el mercado internacional del café.
5. Validar si el comportamiento de las importaciones de café al mayor mercado del mismo se comporta como una caminata aleatoria.

6. Validar si el comportamiento de las importaciones de café para consumo dentro de los Estados Unidos se comporta de acuerdo con la teoría moderna de finanzas.
  
7. Ilustrar el procedimiento científico y creativo a seguir en el desarrollo de los modelos de pronóstico para series de una variable denominados modelos UBJ-ARIMA.

## **HIPÓTESIS**

El impacto del efecto del clima (manifestado en la recurrencia de heladas en el Brasil), puede ser un fenómeno que se manifiesta con una tendencia establecida. Al poder modelarlo, podríamos tomar acciones que amortigüen los efectos negativos del mismo.





## INTRODUCCIÓN

La década de los setentas, en el siglo XX, es de especial atención pues se manifestaron significativamente los efectos de las heladas en Brasil, sobre su producción del grano de café. Siendo históricamente Brasil el país de mayor producción del grano, la merma en su producción provoca un desabastecimiento con implicaciones mundiales, particularmente en el nivel de precios del grano.

Esta tesis se basa en los modelos de pronóstico llamados UBJ-ARIMA, los cuales son una familia de modelos que se utilizan para pronosticar series cronológicas de una sola variable. Siendo Guatemala el país exportador de, probablemente, el mejor café del mundo y siendo el cultivo del café una de las mayores actividades económicas del país, resulta beneficioso un estudio que avance nuestro entendimiento de este producto y su mercado. El periodo estudiado abarca de enero 1970 hasta enero del 1983. Durante este periodo las cosechas de café de Brasil (mayor productor del mundo), se vieron afectadas por heladas durante su invierno, lo cual afectó negativamente la producción, limitando la cantidad disponible de café mundialmente, con los consecuentes incrementos de precio del grano. La relación precio volumen del café se describe claramente la ley económica de la demanda (menor volumen ofertado implica mayores precios del grano). La teoría moderna de finanzas indica que en mercados eficientes no existe la posibilidad de generar ganancias arriba de las normales haciendo uso de información nueva, es decir los precios en un mercado eficiente reflejan la información disponible con respecto al producto, en este caso la disminución de la oferta. Por otro lado, hay una fuerte tendencia mundial, iniciada principalmente por iniciativas mundiales del ex vicepresidente de Estados Unidos Al Gore, que refieren a un impacto de las actividades de los seres

humanos sobre el clima, con una tendencia determinada. La posibilidad de pronosticar dicho impacto es puesta a prueba en este estudio.

Los modelos UBJ-ARIMA indican que el volumen de importaciones de café dentro de los Estados Unidos de América tiene un comportamiento consistente con la teoría moderna de finanzas y no reflejan ninguna tendencia significativa definida para los volúmenes importados ocasionada con una posible tendencia climática establecida. En otras palabras, estadísticamente el mejor pronóstico se basa en las últimas observaciones de la variable. Es decir que los impactos climáticos no son estadísticamente pronosticables y obedecen más a un proceso aleatorio y no a una tendencia ocasionada por un factor determinado de origen humano o de cualquier otro índole.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. La empresa**

La empresa, para propósitos de esta tesis, se llamará Handel S. A., la cual está constituida en Guatemala, con capital internacional.

### **1.1.1. Ubicación**

Handel, S. A. tiene sus oficinas centrales en la ciudad de Guatemala desde donde se administran las operaciones productivas y comerciales del país. Handel produce su propio café en plantaciones ubicadas en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos y Alta Verapaz. Cuenta con beneficios húmedos en todas sus fincas. Las bodegas y beneficios secos propios están ubicados en Coatepeque, Cobán y Villa Nueva. La operación de compra de producto de terceros se extiende en todo el país, teniendo según sea el caso la posibilidad de arrendar espacio de bodega en diferentes localizaciones del territorio nacional.

### **1.1.2. Historia**

Handel se fundó en 1965. En un principio tenía otro nombre y su giro de operación era la compra de las cosechas a finqueros para su entrega a los principales exportadores que operaban en ese entonces en el país (varias de esas empresas ya no operan en el país). En el año de 1972 se adquirió la primera finca en San Marcos con lo que se amplió la operación y conocimiento de la organización a las actividades agroindustriales del café. Para el año 2000, se alcanzó el nivel de infraestructura propia que se tiene a la fecha y Handel se ubica

entre los primeros 500 productores individuales de café en Guatemala y entre los principales 20 exportadores del grano.

#### **1.1.2.1. Visión**

La visión de Handel es: “Ser la empresa exportadora de café de mayor crecimiento en Guatemala”.

#### **1.1.2.2. Misión**

La misión de Handel se alcanzará enfocándose en la exportación de café, de su propia producción y de proveedores (a quienes se denomina “Clientes”, ya que son usuarios de los servicios de beneficiado seco, almacenaje, transporte y exportación). El enfoque de la compra es hacia la producción minifundista. Los mercados prioritarios para destino del producto final son los Estados Unidos de América y en menor proporción hacia Alemania.

#### **1.1.2.3. Valores**

La administración y toma de decisiones en Handel es en base a valores. Estos los representan por el acrónimo “HÉROE”, dicen ser una empresa de héroes... La combinación de letras les recuerda sus valores:

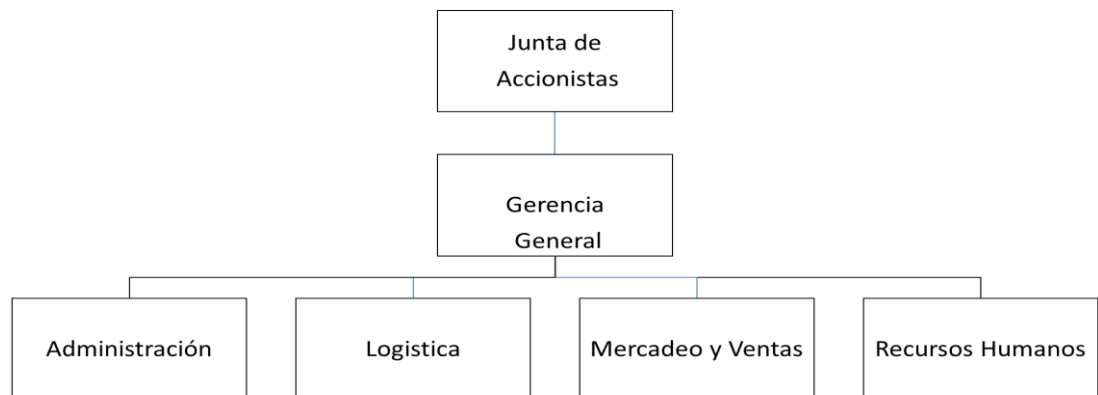
- H: HONESTIDAD, hacer lo que es correcto.
- RE: que es ER al revés, representa dos valores.
- RESPETO, respetar los derechos de los demás.
- RESPONSABILIDAD, cumplir los compromisos y obligaciones.
- O: ORDEN, cumplir con los procedimientos internos y externos.
- E: EXCELENCIA, exceder las expectativas de los clientes.

Cada colaborador en Handel, debe decidir y actuar siguiendo estos valores.

#### 1.1.2.4 Organigrama

El organigrama ejecutivo de Handel se presenta en la figura 1.

Figura 1. **Organigrama ejecutivo de la empresa Agro-industrial Handel, S.A., Guatemala.**



Fuente: Empresa Agro-industrial Handel, S.A., Guatemala

#### 1.1.2.5 Descripción de puestos

Se describen las funciones y áreas relevantes de la organización para los propósitos exclusivos de esta tesis.

##### 1.1.2.5.1 Junta de Accionistas

La Junta de Accionistas o Junta Directiva aprueba y da seguimiento mensual a los planes anuales, de mediano y largo plazo de la organización. La Gerencia General es el punto de contacto con los ejecutivos.

#### **1.1.2.5.2. Gerencia General**

Es la posición responsable ante la Junta de Accionistas por alcanzar los objetivos financieros y no financieros de la organización.

#### **1.1.2.5.3. Administración**

En este departamento se encuentran las funciones de Informática, Contabilidad y Finanzas.

#### **1.1.2.5.4. Logística**

En este departamento se concentran las áreas productivas (agrícola e industrial), Compras, Transporte, Control de Inventarios, Bodegas y Control de Calidad.

#### **1.1.2.5.5. Mercadeo y Ventas**

Se ejecutan las actividades de Ventas y Mercadeo. Su principal objetivo es alcanzar los objetivos de ventas y margen bruto de utilidad.

#### **1.1.2.5.6. Recursos Humanos**

El departamento se divide en las áreas de Nómina y Planilla, Selección y Contratación y Prestaciones.

### **1.1.2.6. Paradigma cultural**

En Handel, al igual que en la mayoría de empresas en la industria, se tiene la creencia de que los precios y volúmenes de exportación tienen una tendencia estacional predecible. Por ejemplo, se asume y a veces se presume que hay personas quienes tienen el conocimiento de cuándo serán las épocas de precios altos y bajos. Criterio prevaleciente inclusive para otras variables como, por ejemplo, las tasas de cambio.

## **1.2. La Ley de la Demanda**

Una de las principales limitaciones de algunos estudios de ingeniería económica es concluir que el precio de los productos se determina por la suma de su costo más la utilidad. Sobre este concepto se han construido modelos de punto de equilibrio con análisis numéricos sofisticados que estimulan a las mentes brillantes, principalmente de estudiantes quienes no han tenido una experiencia laboral en áreas comerciales. La limitante que se menciona se refiere a que el valor de los productos no es objetivo ni el mismo para todas las personas, el valor es subjetivo. El precio es punto de partida y no una consecuencia del costo, a partir del precio se determina si se puede producir o comercializar un producto y cuál sería el margen de utilidad o pérdida. Cuanto mayor sea el precio del producto se venderá una menor cantidad del mismo y para a un precio menor se venderá una cantidad mayor del mismo. Precio y volumen tienen una relación inversa y con una tasa de cambio decreciente, es decir, a un mayor precio el cliente disminuye el volumen de compra y a precios más bajos aumenta la cantidad de producto a comprar o consumir. Por cada unidad adicional a comprar las personas están dispuestas a pagar un valor unitario menor (*diminishing returns*). Entonces el volumen de producto importado dentro de un país, nos permite inferir la tendencia o el nivel del precio del producto.



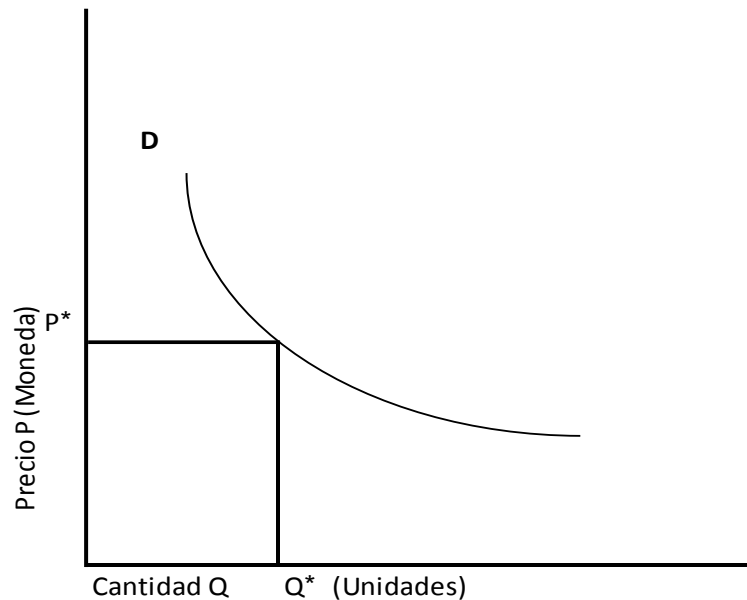
### 1.2.1. Definición

La ley de la demanda indica que para precios mayores se consumirán menores cantidades de producto, inversamente para precios más bajos se demandarán mayores cantidades de dicho bien. La inclinación de dicha curva se conoce como elasticidad, la cual aumenta al volverse paralela a una línea horizontal (Este es el caso de los *commodities* como el café, en el cual no hay demasiada diferenciación y la competencia es intensa).

### 1.2.2. Implicaciones teóricas

En la gráfica 2 se presenta la curva de la ley de la demanda como realmente es (académicamente por simplicidad se presenta como una línea recta). Es similar a las curvas de indiferencia entre dos bienes, en este caso el dinero y un producto dado.

Figura 2. **La Ley de la demanda**



Fuente: elaboración propia.

Para precios menores se incrementa la demanda del producto (Completamente opuesto a la Ley de la Oferta).

### **1.2.3. Implicaciones prácticas**

La principal implicación para Handel de toda esta teoría es que mayores volúmenes de importación implicara menores niveles de precios, asumiendo que los niveles de existencias de inventarios son constantes. Este aspecto debe dirigir la política comercial para optimizar los niveles de facturación. Por otro lado, la variación en volúmenes implica un ajuste en las políticas de compra y mercados de exportación.

#### **1.2.3.1. Marginalidad**

El criterio de marginalidad indica que la cantidad óptima de comercialización, aquella cuando se optimizan las utilidades, en él se encuentra con la primera derivada de la ecuación de la utilidad. Es decir, es aquella en donde el costo marginal de vender una unidad adicional es igual al ingreso marginal de dicha transacción. Representando  $\pi$  la ganancia, P el precio, Q la cantidad y C el costo unitario, la relación es la siguiente:

$$\pi = (P-C)*Q$$

#### **1.2.3.2. Criterio de optimización**

El criterio para optimizar la ganancia se obtiene al igualar a cero la primera derivada de la utilidad con respecto de la cantidad, es decir:

$$D\pi /DQ = DPQ/DQ - DCQ/DQ = 0, \text{ o sea}$$

$$DP/DQ = DC/DQ \text{ o en otras palabras}$$

$$\text{Ingreso Marginal} = \text{Costo Marginal}$$

#### **1.2.4. La conducta humana**

Durante el siglo pasado se desarrollaron modelos y representaciones gráficas que ejemplifican, en general, características comunes de la conducta humana. William Meckling propuso, para describir la conducta de los seres humanos, un modelo práctico comparado con los modelos presentados en ciencias como economía, sociología, política, sicología, entre otros. *Meckling* le denominó a este modelo por las siglas REMM (*Resourceful, Evaluative, Maximizing Man*). Se revisan tres aspectos relevantes que son las Preferencias, la función de Utilidad o Valor y los Retornos Decrecientes.

##### **1.2.4.1. Preferencias**

Los seres humanos tenemos preferencias y las preferencias tienen la propiedad de la transitividad. Por ejemplo; si el bien A, es preferido sobre el bien B y el bien B es preferido sobre el bien C, entonces el bien A es preferido sobre el bien C.

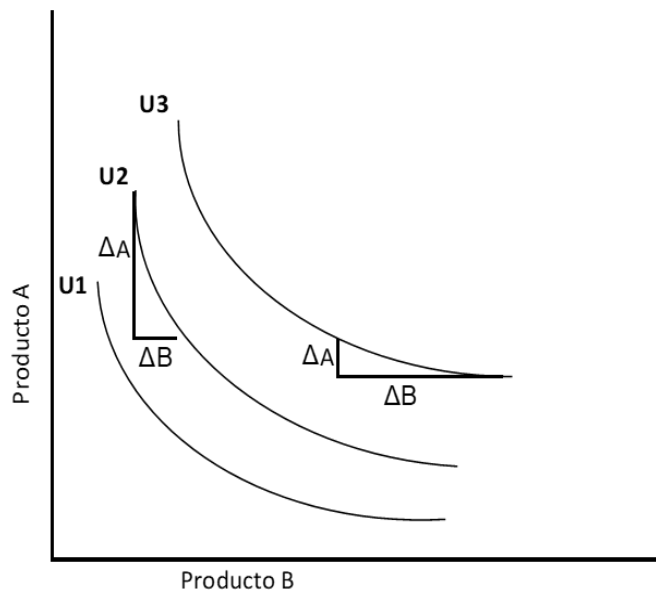
##### **1.2.4.2. Función de utilidad**

Si designamos las cosas que la persona desea tener como bienes, las personas prefieren tener más que tener menos de esos bienes. Y esta valorización es relativa. El valor que una persona acredita a una unidad de un bien, es subjetiva y también depende de la cantidad de ese tipo de bienes que ya posee. No obstante, el individuo prefiere alcanzar un nivel más alto de utilidad (valor o bienestar).

### 1.2.4.3. Retornos decrecientes

Para una persona el valor relativo de una unidad adicional de un bien particular disminuye (a una tasa creciente) cuando la persona posee más de este relativo a otros bienes. En la gráfica 1 se presentan las curvas de indiferencia de una persona entre dos bienes. Nótese que a mayor cantidad de bienes A, la persona está en una mayor disposición de cambiar una mayor cantidad de producto A por una menor del bien B y viceversa. Por otro lado, las personas siempre preferirán ubicarse en una curva de mayor valor. La curva U3 es preferida a la curva de valor U2 y ambas a la curva U1.

Figura 3. Funciones de utilidad o valor



Fuente: elaboración propia.

### 1.3. Teoría Moderna de Finanzas Corporativas

De acuerdo con los doctores Michael Jensen y Clifford Smith de las universidades de Harvard y Rochester, respectivamente, es desde la década de 1950 a 1960 cuando las técnicas y métodos analíticos (estadísticos) utilizados en

economía se empiezan a utilizar en finanzas, la transformación fue significativa dando origen a finales del siglo pasado a la Teoría Moderna de Finanzas. Constituyen los pilares de la Teoría Moderna de Finanzas: La Teoría de Mercados Eficientes, La Teoría de Portafolios, La Teoría de Precios de los Activos, La Teoría de Precios de Opciones y La Teoría de Agencia. En este trabajo se ponen a prueba posibles imperfecciones en el mercado de café, utilizando como referencia del nivel de precios del grano al volumen de importaciones del mismo dentro de los Estados Unidos de América.

Una de las principales limitaciones de algunos estudios de ingeniería económica es concluir que el precio de los productos se determina por la suma de su costo más la utilidad. Esta premisa se ha utilizado para construir modelos de punto de equilibrio con análisis numéricos sofisticados que estimulan a las mentes brillantes, principalmente de estudiantes quienes no han tenido una experiencia laboral completa. Es un razonamiento lógico pero limitado. El valor de los productos no es objetivo ni el mismo para todas las personas, el valor es subjetivo. El precio es el punto de partida y no una consecuencia del costo, a partir del precio se determina si se puede producir o comercializar rentablemente un producto y cual sería nuestro margen de utilidad. Cuanto mayor sea el precio del producto se consumirá una menor cantidad del mismo y para un menor nivel de precios se demandará una cantidad mayor del producto. Precio y volumen tienen una relación inversa y con una tasa de cambio decreciente, i.e. a un mayor volumen, estamos dispuestos a pagar un menor precio por una unidad adicional (*diminishing returns*). Entonces el volumen importado nos permite inferir la tendencia en el nivel del precio del producto.

### **1.3.1. Mercados eficientes**

Un mercado eficiente es aquel en el cual no se puede encontrar una oportunidad de ganancia fuera de lo normal por negociar sobre la base de información relevante a la industria o al producto mismo. Es decir, los precios reflejan el impacto de toda la información disponible. Para garantizar esta premisa, en algunos países, es ilegal comercializar en las empresas públicas, tomando ventaja de información privilegiada. Es de esperar entonces, que, si los precios tienen un comportamiento poco predecible, los volúmenes importados para consumo deberían comportarse similarmente.

### **1.3.2. Variables clave**

Las variables claves son aquellas necesarias para poder alcanzar mercados eficientes y se describen a continuación.

#### **1.3.2.1. Información**

La información debe ser pública, es decir de fácil acceso.

#### **1.3.2.2. Competencia libre**

No deben existir privilegios proporcionados por ley que imposibilite el libre comercio.

#### **1.3.2.3. Cumplimiento de regulación clara**

Las reglas o leyes de comercio deben ser conocidas y estables, limitando el potencial abuso de personas ajenas al comercio y flujo de bienes e información.

#### **1.3.2.4. Ciencia y Tecnología**

La tecnología juega un papel muy importante para manejar grandes volúmenes de información y prácticamente en tiempo real. La ciencia provee los procedimientos y técnicas necesarias para la toma de decisiones gerenciales.

#### **1.3.3. Tendencia de los precios**

Desde el siglo XX se ha documentado la inhabilidad de pronosticar los precios de productos y acciones comercializados en diferentes bolsas de valores. Los precios de los productos y acciones de empresas se comportan como una caminata al azar, es decir que los precios siguen una tendencia aleatoria. Dicho de otra manera, la historia de los precios de una acción o de un producto como el café, no permite establecer estrategias comerciales para obtener ganancias por arriba de las normales. Puesto de una manera más sencilla de interpretar, la mejor proyección para el precio de mañana es el cierre del día de hoy, pues el precio ya refleja toda la información relevante para el producto.

#### **1.4. Efecto del clima**

En toda actividad agrícola las condiciones climatológicas, como lluvias, temperaturas, luz solar, entre otros. Requieren estar en condiciones óptimas para lograr una mayor productividad.

##### **1.4.1. Definición**

Naturalmente el clima cambia durante el día y la noche y de acuerdo a las estaciones del lugar específico.

El cambio climático, políticamente se ha definido a un supuesto efecto constante que en el mismo genera la acción humana.

#### **1.4.2. Implicaciones prácticas**

Durante el periodo estudiado, Brasil representaba la mayor producción de café del mundo y los efectos del clima (heladas y sequías), tuvieron un impacto importante y significativo en el volumen disponible del grano mundialmente. Durante esa década (1970-1980) se observaron periodos de precios muy altos congruentes con la relación del precio y volumen de la ley de la demanda.

Los modelos de series del tiempo deberían poder detectar ese efecto constante que los seres humanos provocamos en el clima el que a su vez incide en los niveles de producción de café.

#### **1.5. Pronósticos**

Los ejecutivos tienen la responsabilidad de llevar a las empresas a la posición estratégica planteada en sus objetivos. Para poder tomar decisiones congruentes se deben proyectar escenarios posibles de las condiciones en que se estará operando. Los valores de las variables de interés se estiman en base a los sistemas de pronóstico de la organización.

##### **1.5.1. Definición**

Se denomina como pronóstico al proceso de estimar un valor futuro en términos de cantidad, tiempo, calidad y ubicación de una determinada variable.



## **1.5.2. Características**

La efectividad de un sistema de pronósticos puede evaluarse sobre la base de cuatro criterios:

### **1.5.2.1. La exactitud**

Este es el principal atributo de un sistema de pronóstico. El error de un pronóstico frecuentemente se convierte en un costo.

### **1.5.2.2. Estabilidad vrs respuesta**

La estabilidad es necesaria para no afectarse por eventos totalmente aleatorios, pero a la vez el sistema de pronósticos debe responder incorporando los cambios que afectan a la variable bajo estudio y que son de carácter permanente.

### **1.5.2.3. Objetividad**

Cualquier selección o manipulación arbitraria de los datos distorsiona la realidad al punto tal que es difícil evaluar la calidad del pronóstico final.

### **1.5.2.4. Tiempo requerido para pronosticar**

Para que un sistema de pronóstico sea efectivo, es necesario que se pronostique en tiempo para poder utilizarse en la toma de decisiones. Si tuviéramos que utilizar un criterio de performance, debiera utilizarse una tasa de costo beneficio, es decir los beneficios derivados versus los costos de operar el sistema.

### **1.5.3. Tipos de pronósticos**

Los tipos de pronósticos se pueden clasificar de muchas maneras por ejemplo por su plazo (corto o largo), por el entorno a pronosticar (Micro o Macro), pero lo más frecuente es clasificarlos por procedimiento empleado (Cualitativos o Cuantitativos).

#### **1.5.3.1. Pronósticos cualitativos**

Los pronósticos de origen cualitativo se basan en sondeos de opinión (juicio humano), principalmente de grupos de personas, por ejemplo: Ejecutivos, Vendedores, Clientes y el Método Delphi (grupo de expertos).

#### **1.5.3.2. Pronósticos cuantitativos**

Son aquellos pronósticos que se basan en datos. Estos se pueden clasificar en:

##### **1.5.3.2.1. Modelos causales**

Estos utilizan datos provenientes de fuentes distintas a las series que están pronosticando, frecuentemente se utilizan en las áreas de mercadeo, ventas, publicidad, finanzas, economía, entre otros. Los más populares son los modelos de regresión lineal de una o varias variables.

##### **1.5.3.2.2. Modelos de series de tiempo**

Estos utilizan datos provenientes de los valores pasados que tomo la variable que se estudia. Los más conocidos son los métodos de promedios

móviles, suavizamiento exponencial y proyección de tendencia; los menos conocidos, son los modelos ARIMA-UBJ.

La descomposición clásica de series de tiempo es en cuatro componentes:

- Tendencia

Es el componente de largo plazo que representa el crecimiento o disminución en la serie sobre un período amplio.

- Ciclo

Es la fluctuación en forma de onda alrededor de la tendencia.

- Estacionalidad

Es un patrón de cambio que se repite a sí mismo con la misma frecuencia.

- Aleatorio

Se refiere al componente al azar en la observación.

### **1.5.3.3. Pasos en la elaboración de un pronóstico**

- Recopilación de datos
- Reducción, transformación o condensación de datos
- Construcción del modelo
- Extrapolación del modelo

#### **1.5.4. Principales aplicaciones**

Los pronósticos se utilizan en todas las ciencias. Particularmente para el Ingeniero Industrial los campos de aplicación están en la proyección de demandas, ventas, facturaciones, planeación de la producción, control de calidad, niveles de inventario, costo de producción, nivel de servicio, variables externas como tasas de cambio, inflación, precios, volúmenes de mercado, entre otros.

#### **1.6. Modelos Box-Jenkins**

Los Modelos Box-Jenkins ganaron popularidad al ser utilizados exitosamente para analizar las enormes cantidades de información acumulada en las bolsas de valores, es decir que su aplicación fue en el campo financiero.

##### **1.6.1. Definición**

La teoría y práctica del análisis de series de tiempo se ha desarrollado rápidamente. Uno de los métodos de pronóstico de corto plazo más conocido es el análisis de una sola variable Box-Jenkins, llamados también análisis ARIMA. Se usa la etiqueta Box-Jenkins porque George E.P. Box y Gwilym M. Jenkins son las dos personas responsables de formular el procedimiento de este tipo de modelos. Las iniciales UBJ son abreviación de (Una variable Box-Jenkins) y a los modelos UBJ se les llama modelos ARIMA, acrónimo para Promedio Móvil autoregresivo integrado.

Un modelo ARIMA es una expresión algebraica que demuestra como una variable de series de tiempo se relaciona con sus propios valores pasados.

### **1.6.2. Nomenclatura**

La letra  $p$  se refiere al orden AR del modelo, la letra  $d$  al número de diferenciaciones, la letra  $q$  al orden MA y la letra  $s$  número de periodos estacionales, esta notación se presentará con mayor detalle.

### **1.6.3. Clasificación de modelos**

Los modelos ARIMA se clasifican en Estacionarios y no Estacionarios.

#### **1.6.3.1. Modelos estacionarios**

El método UBJ-ARIMA se aplica únicamente a series estacionarias. Las series estacionarias son aquellas cuyos promedio, varianza y función de autocorrelación son esencialmente constantes a través del tiempo.

#### **1.6.3.2. Modelos no estacionarios**

Las series no estacionarias, en su mayoría, pueden ser transformadas a series estacionarias. Este procedimiento adicional se aplica para transformar la serie y luego inversamente para alcanzar el pronóstico.

## **1.7. El café en Guatemala**

El cultivo del café en Guatemala data de la década de 1870, convirtiéndose desde entonces en el principal producto de exportación y representando una solución para la decadencia del monocultivo anterior, la cochinilla. Los principales competidores desde ese entonces fueron Brasil, Colombia y México.

### **1.7.1. Historia**

Oriundo de Etiopía, el café se difundió como bebida en Arabia, entre los siglos XIII y XV; en el Cercano Oriente en el siglo XVI; en Europa en el siglo XVII; y en América en el siglo XVIII. Como cultivo se aclimató rápidamente en el Nuevo Mundo. Varios países asiáticos, latinoamericanos y africanos encontraron en este producto la clave para su desarrollo económico.

### **1.7.2. Importancia económica**

El café es en volumen, el segundo producto más comercializado en el mundo, después del petróleo. Ese solo aspecto indica la importancia que tiene para Guatemala. Esta radica que, en todo su proceso de producción y comercialización y consumo, involucra económicamente a millones de personas en todo el mundo.



## 2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

Una de las tareas en la labor diaria de ingenieros, administradores y otros profesionales es crear el futuro de las organizaciones bajo su responsabilidad. Se han desarrollado muchas herramientas para pronosticar el futuro de diferentes variables relevantes para una organización, sea demanda, precios, tasas de cambio, entre otros. Las herramientas estadísticas más destacadas son basadas en autocorrelaciones y regresiones estadísticas.

En este trabajo de tesis me enfoco en presentar el uso de una de ellas: Los modelos de una variable Box-Jenkins conocidos como modelos UBJ-ARIMA. Box y Jenkins propusieron una familia algebraica de modelos (ARIMA) de la cual podemos seleccionar uno que parezca apropiado para modelar y pronosticar una serie de datos.

### 2.1. Series de datos cronológicos

Las series de datos cronológicos normalmente son de una variable y en la literatura se les conoce como series de tiempo que viene de la traducción simple de su nombre en inglés: *time series*.

#### 2.1.1. Serie de tiempo

En la tabla 1 se presenta la serie de datos de importaciones de café para consumo dentro de los Estados Unidos de América de enero de 1970 a enero de 1983, este periodo es importante pues el país mayor productor del grano (Brasil)



sufrió importantes heladas. La fuente de información es el “1983 *Commodity Year Book*” una publicación de CRBI (*The Commodity Research Bureau, Inc*).

**Tabla I. Importaciones totales de café para consumo dentro de los Estados Unidos de América de enero de 1970 a enero de 1983. (datos expresados en miles de sacos de 60 Kg.)**

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Enero	1 783	2 002	2 547	1 996	2 182	1 852	1 664
Febrero	1 841	1 530	2 172	1 844	2 022	1 656	1 744
Marzo	1 716	1 480	1 137	2 101	2 457	1 535	2 311
Abril	1 639	2 032	1 146	2 050	2 264	1 448	1 636
Mayo	1 644	1 759	1 784	2 494	1 873	1 365	1 546
Junio	1 891	1 941	1 452	1 710	1 529	1 736	1 864
Julio	1 550	2 132	1 434	1 573	1 499	1 626	1 989
Agosto	1 616	2 720	1 947	1 731	1 152	1 868	1 637
Septiembre	1 355	2 754	2 149	1 399	821	2 533	956
Octubre	1 713	621	2 057	1 624	740	1 784	1 013
Noviembre	1 597	875	1 643	1 624	1 159	1 587	1 649
Diciembre	1 382	1 818	1 288	1 652	1 550	1 299	1 858

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Enero	1 994	1 682	1 747	2 020	1 858	1 287	1 556
Febrero	1 707	1 575	1 353	1 366	1 738	1 195	
Marzo	1 839	1 707	1 631	1 421	1 395	1 490	
Abril	1 824	1 557	2 037	1 642	1 299	1 147	
Mayo	1 224	1 345	1 619	1 566	1 356	1 476	
Junio	1 137	1 249	1 617	1 663	1 026	1 335	
Julio	756	1 316	1 597	1 533	922	1 282	
Agosto	695	1 124	1 404	1 386	1 213	1 602	
Septiembre	678	1 337	1 632	1 062	1 150	1 640	
Octubre	635	1 901	1 273	1 292	1 487	2 005	
Noviembre	972	1 689	1 593	1 386	1 565	1 356	
Diciembre	1 347	1 651	1 893	1 715	1 547	1 602	

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.2. Periodo seleccionado**

Los datos a estudiar son las importaciones totales de café en Estados Unidos de enero de 1970 a enero de 1983, presentados en una base mensual, es decir, un total de 162 observaciones (estos se presentan en la tabla I y en la figura 1). La serie de datos se procesó en el paquete estadístico IDA en una mini computadora HP-3000, para el análisis de los mismos. El punto de interés de esta serie radica en que las exportaciones de café representan uno de las principales fuentes de divisas de Guatemala y durante este periodo se presentaron al menos tres heladas significativas en el Brasil (mayor productor del grano en el mundo), afectando la cantidad disponible y consecuentemente incrementando el valor del mismo en el mercado internacional. Con esta herramienta estadística se pretende poder modelar los volúmenes de importación de café dentro de Estados Unidos. De ser posible se podría detectar una relación entre clima, volumen y precio.

## **2.2. Modelos UBJ**

La terminología UBJ deriva de las iniciales en inglés para los modelos de una variable Box-Jenkins. George E. P. Box y Gwilym M. Jenkins, ellos son las personas que formalizaron el procedimiento para el desarrollo de los modelos UBJ, a ésta familia de modelos también se les refiere con el acrónimo ARIMA (*Auto-regressive integrated Moving Average* - Promedio móvil autoregresivo integrado).

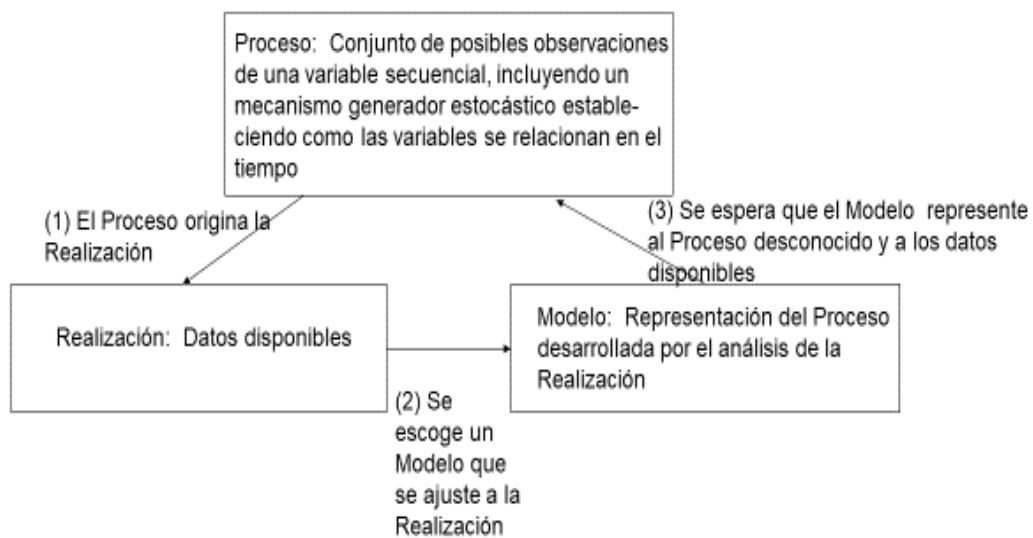
### **2.2.1. Descripción**

Los modelos de una sola variable asumen que existe una relación entre las variables cronológicas (conocidas como series de tiempo), expresada

principalmente como tendencias, estacionales o irregularidades. El modelo pretende simular el comportamiento del proceso existente que genera la realización (serie de datos).

En la figura 4 se presenta la relación existente entre modelo, proceso y realización.

Figura 4. **Relación entre proceso, realización y modelo**



Fuente: elaboración propia.

Los modelos ARIMA son adecuados para series cronológicas de una variable y para pronósticos de corto plazo. Los modelos UBJ-ARIMA son muy útiles para pronosticar series de datos que contienen variaciones estacionales (variaciones periódicas). Box y Jenkins recomiendan que para construir un modelo ARIMA se tomen 50 observaciones como mínimo.

Un Modelo UBJ describe a un conjunto de observaciones de una variable de series de tiempo. Es una expresión algebraica (mecanismo generador) que describe como se relacionan dichas observaciones.

### 2.2.2. Autoregresión

Los modelos de procesos con términos conteniendo valores de observaciones anteriores de la variable, se llaman autoregresivos (abreviado AR) y el orden AR se selecciona como el número de la observación más lejana que aparece en un término del modelo. Considérese el proceso siguiente, AR:

$$z_t = C + \Phi z_{t-1} + a_t$$

$z_t$  se relaciona al valor inmediato anterior de la misma variable, el coeficiente  $\Phi$ , es un número fijo que indica como es esa relación, C es una constante. La variable  $a_t$  representa un elemento de shock aleatorio.

### 2.2.3. Promedio móvil

Procesos asociados con términos conteniendo shocks aleatorios de observaciones anteriores (desviaciones del promedio) se llaman de promedio móvil (abreviado MA por su nombre en inglés *Moving Average*). El orden MA será el número del valor más lejano en la expresión algebraica. Considérese el siguiente proceso MA:

$$z_t = C + \theta a_{t-1} + a_t$$

El coeficiente  $\theta$  es una constante que nos indica como la observación actual se relaciona con el shock aleatorio de la observación del periodo inmediato anterior.

## 2.3. Procedimiento del modelaje Box-Jenkins

Un modelo ARIMA es una declaración o enunciado algebraico que enseña como una serie de datos cronológica de una variable se relacionan con sus valores pasados. Como se ilustra en la figura 3, las etapas del desarrollo de los modelos son:

### **2.3.1. Identificación**

Escoger uno o más modelos ARIMA como candidatos. En esta etapa se utilizan dos dispositivos gráficos para medir la correlación entre las observaciones. Estos dispositivos son las funciones estimadas de autocorrelación (acf) y autocorrelación parcial (pacf).

### **2.3.2. Estimación**

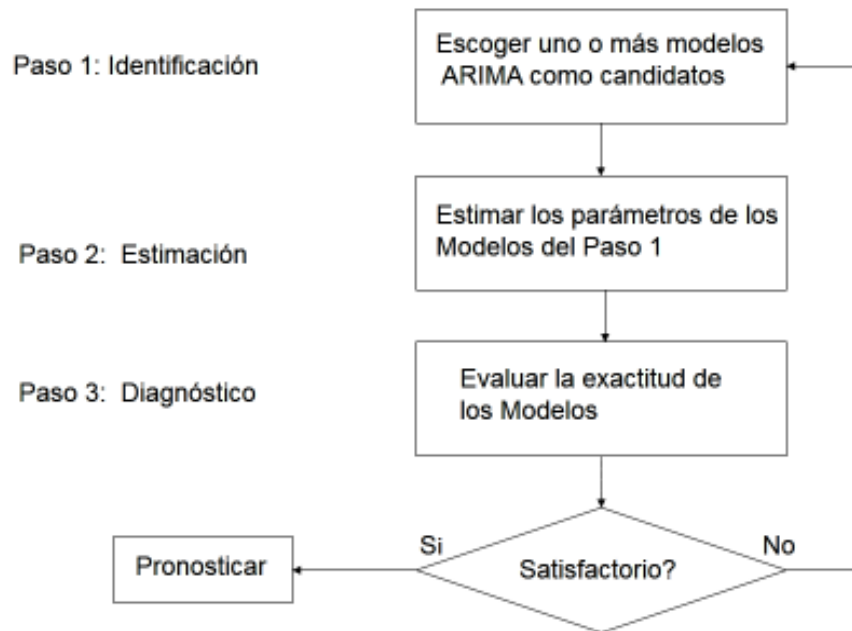
Estimar los parámetros del modelo (s) seleccionado en la etapa de identificación. Si los coeficientes estimados no satisfacen ciertas condiciones matemáticas (significativamente diferentes de cero), el modelo es rechazado.

### **2.3.3. Diagnóstico**

Se procede a validar lo adecuado del modelo y de aceptarse se procede a pronosticar, si el modelo falla el diagnóstico estadístico se regresa a la fase de identificación.

En la figura 5 se presenta el diagrama de flujo del proceso de modelaje Box-Jenkins.

Figura 5. **Pasos del enfoque iterativo para la construcción de modelos Box-Jenkins**



Fuente: elaboración propia.

## 2.4. Series de datos diferenciada

El método UBJ-ARIMA se aplica únicamente a series de tiempo estacionarias.

### 2.4.1. Definición

Una serie de datos que no tiene un promedio y varianza estacionarios, puede a menudo transformarse en estacionaria a través de una operación de diferencias ( $\check{z}_t = z_t - z_{t-1}$ ), usualmente la serie de tiempo se logra volver estacionaria en la primera diferenciación.

## 2.4.2. Serie estacionaria

Una serie de datos estacionaria tiene un promedio, una varianza y una función de autocorrelación que son constantes a través del tiempo.

### 2.4.2.1. Promedio

El promedio de una serie de tiempo, indica el nivel de la serie. Se estima el promedio de la serie ( $\mu$ ) con el promedio de la muestra ( $\bar{z}$ ). El promedio de la muestra se calcula como cualquier promedio aritmético, es decir, se suman las observaciones de cada periodo ( $z_t$ ) y se divide entre el número total de observaciones (n):

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n z_t$$

### 2.4.2.2. Varianza

Usamos la varianza de la muestra  $s_t^2$  para estimar la varianza real  $\sigma^2$ . La varianza mide la dispersión de las observaciones alrededor del promedio. La varianza es la desviación con respecto del promedio de cada observación, se eleva al cuadrado cada desviación, se suman todas y se dividen entre el número total de observaciones (n):

$$s_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (z_t - \bar{z})^2$$

## 2.5. Estimación de autocorrelaciones

Se presentan dos Herramientas analíticas: la función estimada de autocorrelación (acf) y la función estimada de autocorrelación parcial (pacf). Estas herramientas son muy importantes en la etapa de identificación en el método UBJ. Ambas miden la relación estadística dentro de las observaciones de una serie. La acf mide la correlación con una observación específica, x número de periodos antes mientras que la pacf toma en cuenta el impacto de las observaciones intermedias.

### 2.5.1. Función estimada de autocorrelación (acf)

La fórmula estándar para calcular el coeficiente de autocorrelación es:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (z_t - \bar{z})(z_{t+k} - \bar{z})}{\sum_{t=1}^n (z_t - \bar{z})^2}$$

En donde  $z_t$  es la realización en el periodo t y  $\bar{z}$  es el promedio de todas las realizaciones.

### 2.5.2. Función estimada de autocorrelación parcial (pacf)

La idea del análisis de la autocorrelación parcial es que se quiere medir como se relacionan  $z_t$  y  $z_{t+k}$ , pero tomando en consideración los efectos de las z en medio de ambas. La visualización gráfica de estas relaciones es imposible arriba de las tres dimensiones, la forma más exacta para calcular los coeficientes de autocorrelación es estimando los coeficientes de regresión de cuadrados mínimos. Existe un método que da buenos estimados de las autocorrelaciones parciales y está basado en un conjunto de ecuaciones llamadas Yule-Walker.





### **3. PROPUESTA PARA MODELAR LOS PROCESOS ARIMA**

Como se ha indicado, en el análisis UBJ-ARIMA, una serie de datos se llama realización. Esta realización se asume que ha sido generado por un mecanismo llamado el proceso. Los procesos son de dos tipos:

#### **3.1. Proceso AR**

AR quiere decir proceso autoregresivo. Cada término AR en un proceso ARIMA tiene al menos un coeficiente fijo ( $\Phi$ ) multiplicado por un término  $z$  del pasado.

##### **3.1.1. Notación**

El orden del proceso AR se representa por la letra “p”, siendo p el término  $z_t$  más lejano que se incluye en el modelo.

##### **3.1.2. Autoregresión**

Indica como los valores de  $z_t$  se comportan en relación a observaciones anteriores de la misma variable.

#### **3.2. Proceso MA**

MA quiere decir Promedio Móvil. Cada término MA en un proceso ARIMA tiene al menos un coeficiente fijo ( $\theta$ ) multiplicado por un término (shock) aleatorio del pasado ( $a_t$ ).

### 3.2.1. Notación

El orden del proceso MA se representa por la letra “q”, siendo q el término  $a_t$  más lejano que se incluye en el modelo.

### 3.2.2. Promedio móvil

Indica como los valores de  $z_t$  se comportan en relación al componente del impacto aleatorio  $a_t$  de la misma variable.

## 3.3. Procesos ARIMA

Los procesos ARIMA agrupan tanto a los procesos AR como los procesos MA, procesos relacionados a observaciones anteriores o impactos aleatorios anteriores.

### 3.3.1. Procesos comunes

Algunos procesos comunes son:

#### 3.3.1.1. Procesos AR(1)

$$\text{AR}(1): \check{z}_t = C + \phi_1 \check{z}_{t-1} + a_t$$

En donde C es un término constante,  $\phi_1$  es el coeficiente fijo que determina la relación entre la realización en el periodo t y la realización en el periodo t-1; y  $a_t$  es el elemento probabilístico (shock aleatorio) en el periodo t.

### 3.3.1.2. Procesos MA(1)

$$\text{MA}(1): \check{z}_t = C + \theta_1 a_{t-1} + a_t$$

en donde  $\theta_1$  es un coeficiente fijo que determina la relación entre la realización en el periodo t y el elemento probabilístico en el periodo t-1.

### 3.3.1.3. Otros tres procesos comunes

Tres ejemplos comunes y adicionales que ejemplifican el uso de la notación ARIMA son los siguientes:

$$\text{AR}(2): \check{z}_t = C + \phi_1 \check{z}_{t-1} + \phi_2 \check{z}_{t-2} + a_t$$

$$\text{MA}(2): \check{z}_t = C + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + a_t$$

$$\text{ARMA}(1,1): \check{z}_t = C + \phi_1 \check{z}_{t-1} + \theta_1 a_{t-1} + a_t$$

### 3.3.2. Notación ARIMA (p,d,q)

Como se ha indicado, el orden AR del proceso se designa por la letra “p”, el orden MA del proceso se designa como “q” y la letra “d”, que también es un entero positivo, indica el número de veces que una serie debe ser diferenciada para alcanzar un promedio estacionario constante, es decir volver la serie estacionaria.

### **3.4. Modelos estacionales**

Dentro de una serie de tiempo pueden existir impactos cíclicos ocasionados por diferentes efectos tales como fechas promocionales, aniversarios, fin de semana, clima, entre otros.

#### **3.4.1. Descripción**

Las series del tiempo, frecuentemente presentan un comportamiento periódico. Una serie periódica tiene un patrón que se repite cada “s” periodos de tiempo, en donde “s” es mayor que cero. Un caso común de comportamiento periódico son las variaciones estacionales. Con series de datos estacionales, frecuentemente es necesario realizar las diferenciaciones (restas) cada “s” periodos. Esta atención a coeficientes para cada cierto periodo de observaciones es adicional a los patrones no estacionales de la serie de datos. El concepto es que las observaciones de “z” cada “s” periodos, son similares ( $z_t, z_{t-s}, z_{t+s}, z_{t-2s}, z_{t+2s}, \dots$ )

##### **3.4.1.1. Función de autocorrelación**

Para series estacionales la acf debe tener coeficientes estadísticamente diferentes de cero a uno o más múltiplos “s” de observaciones (s, 2s, 3s, 4s...).

##### **3.4.1.2. Función parcial de autocorrelación**

Para series estacionales la pacf debe tener coeficientes estadísticamente diferentes de cero a uno o más múltiplos “s” de observaciones (s, 2s, 3s, 4s...).

### **3.4.2. Notación**

Se llama notación a la nomenclatura seleccionada para poder clasificar y fácilmente identificar la infinidad de modelos ARIMA que se pueden construir.

#### **3.4.2.1. Orden estacionario (p,d,q)**

Un modelo estacionario podría caracterizarse de la siguiente manera: ARIMA (p,d,q) en donde p es el orden AR, d es el número de veces que se ha diferenciado la serie para alcanzar un promedio estacionario; y q es el orden MA.

#### **3.4.2.2. Orden estacional (P,D,Q)<sub>s</sub>**

Un modelo estacional se caracteriza de la siguiente manera: ARIMA (P, D, Q)<sub>s</sub> en donde P es el orden AR, D es el número de veces que se ha diferenciado la serie (cada s observaciones) para alcanzar un promedio estacionario; y Q es el orden MA.

### **3.4.3. Modelos ARIMA (p,d,q) (P,D,Q)<sub>s</sub>**

La notación para este tipo de modelos es ARIMA (p,d,q) (P,D,Q)<sub>s</sub>, en donde las minúsculas indican los órdenes estacionarios y las mayúsculas los órdenes estacionales. La letra s representa la frecuencia de la estacionalidad.

## **3.5. Características de un buen modelo UBJ-ARIMA**

Se han determinado siete características importantes que debe cumplir un modelo para pronosticar.

### **3.5.1. Criterio parsimonioso**

Box y Jenkins enfatizan este principio clave para la construcción de modelos. Un modelo parsimonioso es aquel que se ajusta adecuadamente a los datos sin utilizar coeficientes innecesarios.

### **3.5.2. Coeficientes AR**

Un buen modelo AR es estacionario. Para modelos AR(1) el coeficiente debe ser menor que cero, para AR(2) la suma de ambos debe ser menor que cero (y así sucesivamente), finalmente, su resta también debe ser menor que cero.

### **3.5.3. Coeficientes MA**

Un buen modelo MA es invertible (mayor importancia se debe poner a observaciones más recientes). Para modelos MA(1) el coeficiente debe ser menor que cero, para modelos MA(2) la suma de ambos coeficientes debe ser menor que cero (y así sucesivamente), finalmente, su resta también debe ser menor que cero.

### **3.5.4. Calidad de coeficientes**

Un buen modelo tiene coeficientes estimados de alta calidad estadística. Esto se logra garantizando modelos con una  $t$  estadística alrededor o mayor a 2. Los coeficientes AR y MA no deben estar correlacionados, de estarlo el modelo se puede comportar inestablemente.

### **3.5.5. Independencia residual**

Nosotros no podemos observar los shocks aleatorios, pero podemos obtener un estimado de los mismos. Se debe encontrar la acf de los mismos para confirmar su independencia.

### **3.5.6. Representación adecuada de la observación**

Ningún modelo va a representar perfectamente la serie de datos del tiempo, porque hay un impacto aleatorio presente en los datos. Sin embargo, para determinarlo se usan medidas estadísticas como cuadrados mínimos (RMSE) y el porcentaje de error promedio absoluto (MAPE).

### **3.5.7. Pronósticos satisfactorios**

El modelo debe tener un error de pronóstico bajo. Para evaluar un modelo por este criterio, se debe monitorear la calidad de pronósticos. En la tabla II se resumen las características generales que debe cumplir un modelo para ser considerado como bueno.

Tabla II. **Características de un buen modelo ARIMA**

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Es parsimonioso (usa la menor cantidad de coeficientes para explicar los datos disponibles).</li><li>2. Es estacionario (coeficientes AR estadísticamente significativos)</li><li>3. Es invertible (coeficientes MA estadísticamente significativos)</li><li>4. Tiene coeficientes estimados de calidad alta.</li><li>5. Los residuos son estadísticamente independiente.</li><li>6. Representa satisfactoriamente los datos.</li><li>7. Pronostica el futuro satisfactoriamente.</li></ol> |
|--|

Fuente: elaboración propia.





## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **4.1. Plan de acción**

Es importante mencionar que la investigación realizada en esta tesis es un proyecto puntual a diferencia de la utilización de los modelos de pronóstico ARIMA-UBJ, los cuales representan una actividad continua. Para propósitos de administración y pronóstico se deberán realizar permanentemente las acciones descritas en esta sección.

#### **4.1.1. Entidades responsables**

Los roles primordiales se resumen principalmente a nivel ejecutivo.

##### **4.1.1.1. Gerencia General**

La Gerencia General tiene la responsabilidad de tomar las decisiones que se consideren adecuadas conforme al resultado pronosticado.

##### **4.1.1.2. Mercadeo y Ventas**

Mercadeo y Ventas es el departamento responsable de la administración del modelo, en cuanto se refiere a conseguir la información o datos que sean de fuente confiable y que se consideren de buena calidad. Posteriormente se deberá desarrollar el modelo para finalmente calcular el pronóstico deseado. Una vez alcanzado y seleccionado un modelo satisfactorio se procede a realizar el

pronóstico el cual se proporciona a todas las áreas involucradas para ejecutar las decisiones que conforme al pronóstico determine la Gerencia General.

#### **4.1.1.3. Finanzas**

Las dos funciones principales del área financiera son por un lado la fiscalización de la administración del modelo en cuanto a la calidad de la información considerada y por otro lado garantizar los recursos financieros para cumplir con los requisitos necesarios para poder ejecutar las decisiones, que, con base al pronóstico, tome la gerencia.

#### **4.1.1.4. Logística**

Es en esta área donde se deben contemplar todas las acciones necesarias para garantizar una capacidad eficiente en todas las áreas afectadas por las decisiones tomadas en base al pronóstico, es decir, abastecimiento, transporte, procesos (beneficiados), almacenamiento, exportación, entre otros.

### **4.2. Implementación del plan**

Se inicia la ilustración de los pasos a seguir en la construcción del modelo óptimo.

#### **4.2.1. Serie de datos**

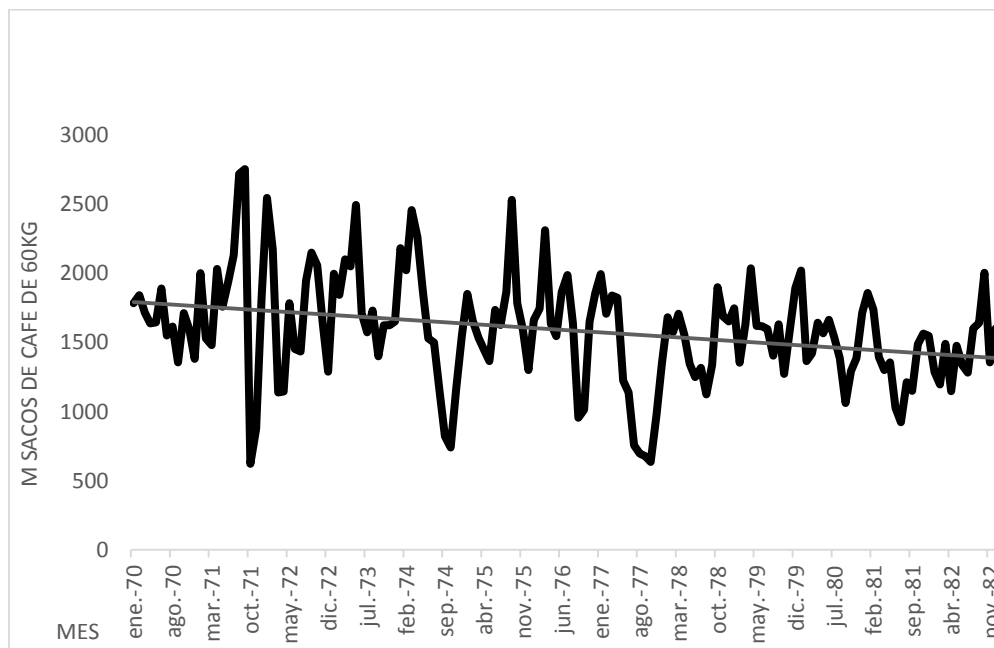
Las importaciones totales de café para consumo dentro de los Estados Unidos de América de enero de 1970 a enero de 1983. Se presentaron dentro la tabla I en la página 22.

#### 4.2.2. Análisis de la serie de tiempo

Revisando los datos a simple vista se pueden observar disminuciones significativas especialmente en los años 1971, 1974, 1976 y 1977, principalmente en los meses de septiembre y octubre. Impactos a los 36, 24 y 12 meses respectivamente. Se procede al proceso de análisis gráfico para poder visualmente detectar características del proceso que está generando esta realización.

Los datos de la tabla I son presentados en la figura 6. La serie aparece ser estacionaria en su promedio, aunque también parece tener una tendencia hacia la baja. De confirmarse estadísticamente, esta situación podría ser corregida con la primera diferenciación de la serie.

Figura 6. **Importaciones de café dentro de EE. UU. (miles de sacos de 60 Kg)**



Fuente: elaboración propia.

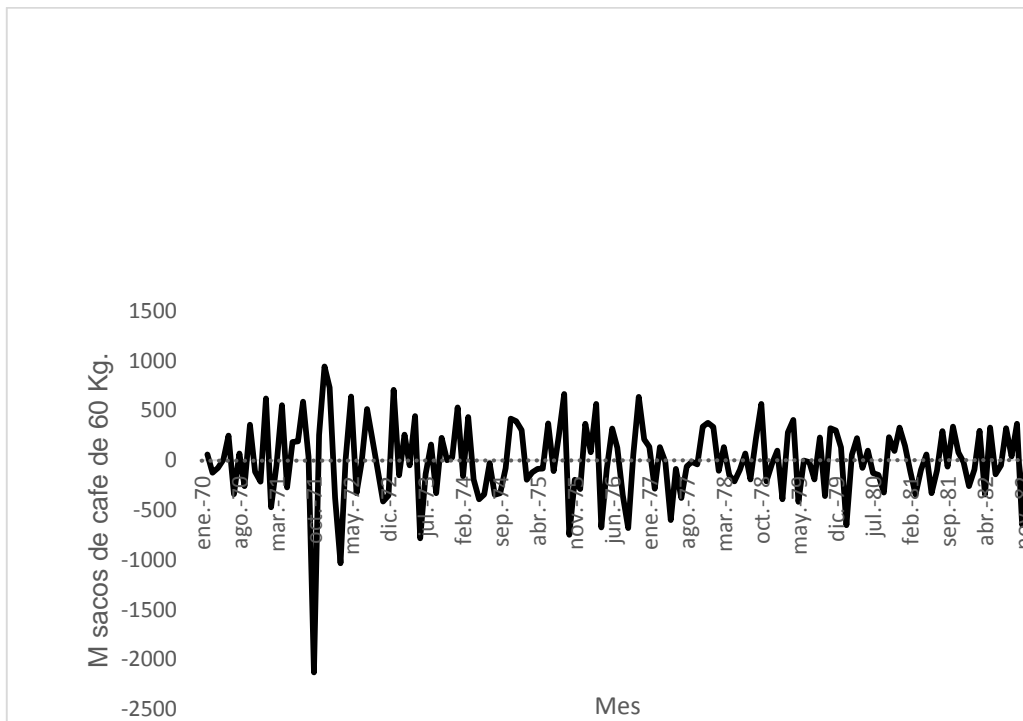
### 4.2.3. Serie de datos diferenciada

Para lograr el requisito de que la serie de datos de tiempo sea estacionaria, de ser necesario, esta condición se puede alcanzar diferenciado la misma en los grados que sea necesario.

#### 4.2.3.1. Primera diferenciación

En la figura 7 se presentan las primera diferencias ( $\check{z}_t = z_t - z_{t-1}$ ) para la serie de tiempo en estudio, se observa una clara y estable tendencia alrededor de cero, con lo cual, de ser necesario se podría utilizar esta nueva serie que visualmente cumple el requisito de ser estacionaria para una mejor aplicación de los modelos UBJ-ARIMA.

Figura 7. Primera diferenciación de la serie de datos de la tabla I

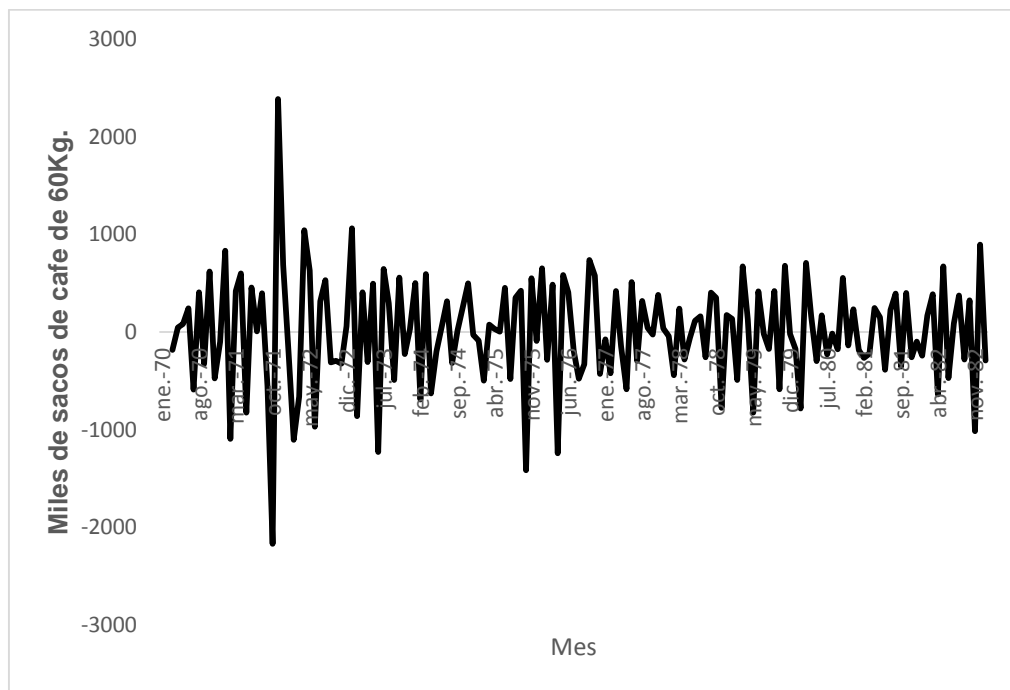


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.2. Segunda diferenciación

En la figura 8 se presentan las segundas diferencias ( $\ddot{z}_t = \dot{z}_t - \dot{z}_{t-1}$ ) para la serie de tiempo en estudio, se observa una serie estable alrededor de cero, no se observa una mejora sustancial al progreso alcanzado en la figura 1. (Primera diferenciación).

Figura 8. Segunda diferenciación de la serie de datos de la tabla I

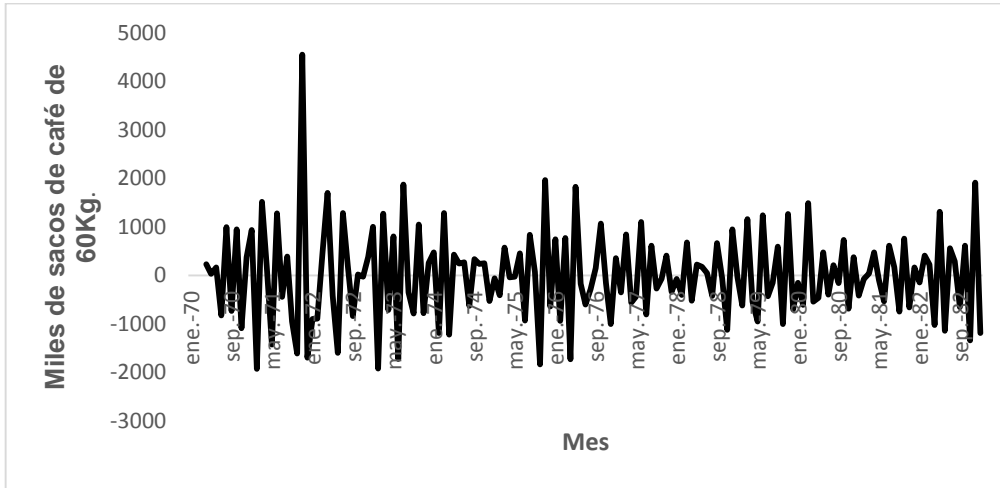


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.3. Tercera diferenciación

En la figura 9 se presentan las terceras diferencias ( $\dddot{z}_t = \ddot{z}_t - \ddot{z}_{t-1}$ ) para la serie de tiempo en estudio, se observa una serie estable alrededor de cero, como esperado, por lo que, no se observa una mejora sustancial al progreso alcanzado en la figura 1. (Primera diferenciación).

Figura 9. Tercera diferenciación de la serie de datos de la tabla I

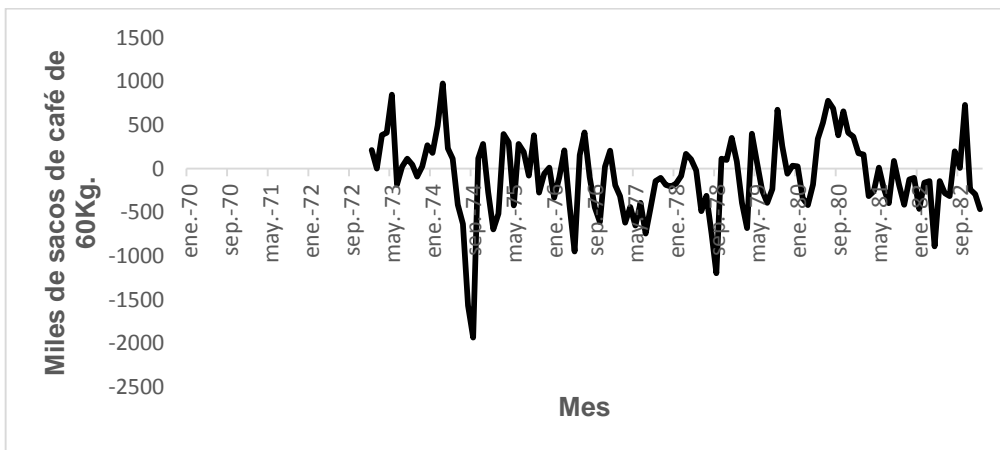


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.3.4. Diferenciación cada 36 observaciones

En la figura 10 se presentan las diferencias cada 36 observaciones ( $\check{z}_t = z_t - z_{t-36}$ ) para la serie de tiempo en estudio, se observa una serie estable alrededor de cero, visualmente no se encuentra una condición estacionaria más fuerte a la alcanzada en la gráfica 4. (Primera diferenciación).

Figura 10. Diferenciación cada 36 observaciones de la serie de datos de la tabla I



Fuente: elaboración propia.

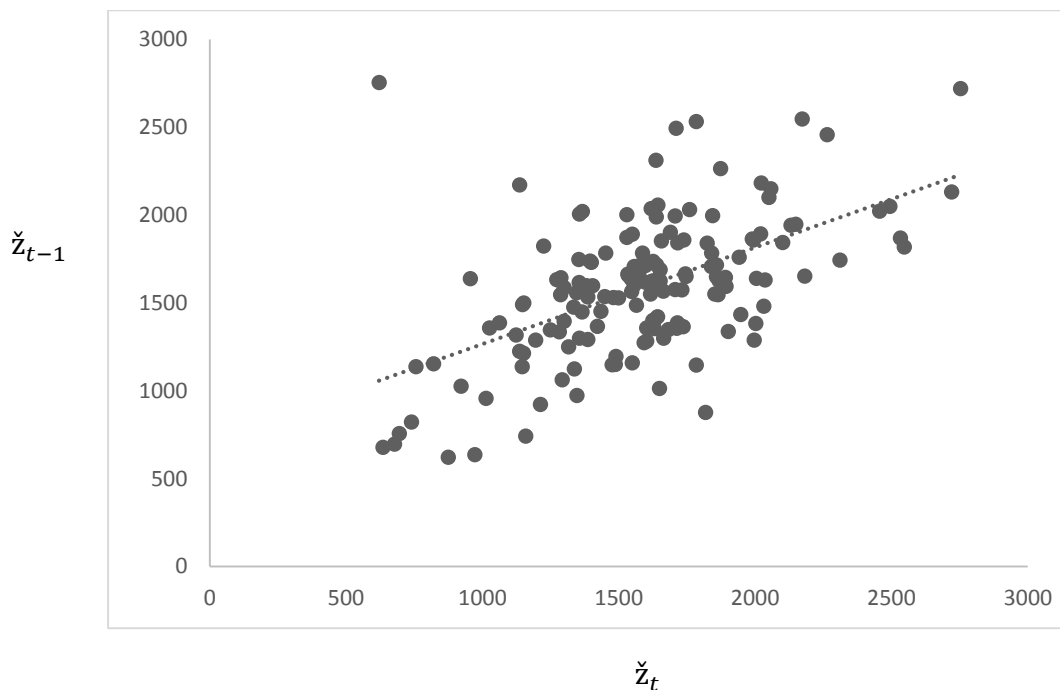
#### 4.2.4. Relación con observaciones anteriores

La correlación entre dos variables se puede visualizar gráficamente en el tradicional plano bidimensional.

##### 4.2.4.1. Relación con la observación del mes anterior

En la figura 11 se presentan la gráfica las realizaciones con aquella del mes anterior ( $z_t, z_{t-1}$ ), se observa una clara correlación positiva. La tendencia de la misma se dibuja con una línea punteada recta.

Figura 11. **Representación de la relación de las observaciones con la del mes anterior (miles de sacos de café de 60 Kg)**



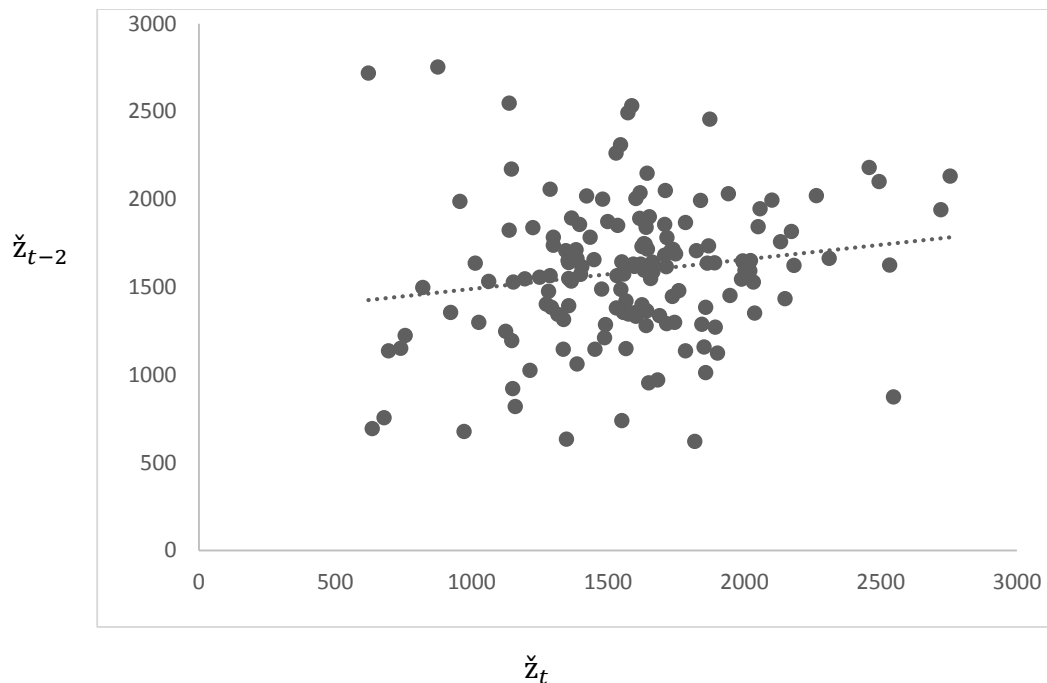
Fuente: elaboración propia.



#### 4.2.4.2. Relación con la observación dos periodos antes

Siguiendo con el análisis gráfico, procedemos a evaluar visualmente la relación de las observaciones con aquellos dos meses antes. En la figura 12 se presenta la misma y se observa que existe una correlación menor.

Figura 12. Representación de la relación de las observaciones con la del mes anterior (miles de sacos de café de 60 Kg)

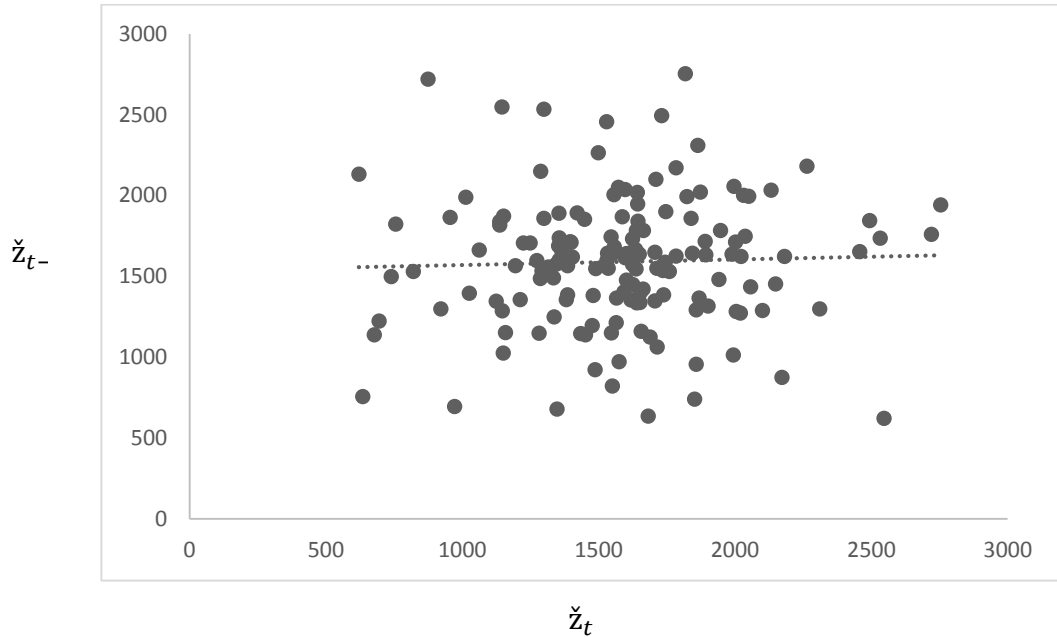


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.4.3. Relación con las observaciones de tres meses antes

En la figura 13 se presenta la relación de las realizaciones con 3 meses de diferencia. Se observa una correlación muy baja con lo que se sospecha que el orden estacionario de los modelos ARIMA podría no ser mayor a 2.

Figura 13. **Representación de la relación de las observaciones con aquellos 3 meses antes (miles de sacos de café de 60 Kg)**



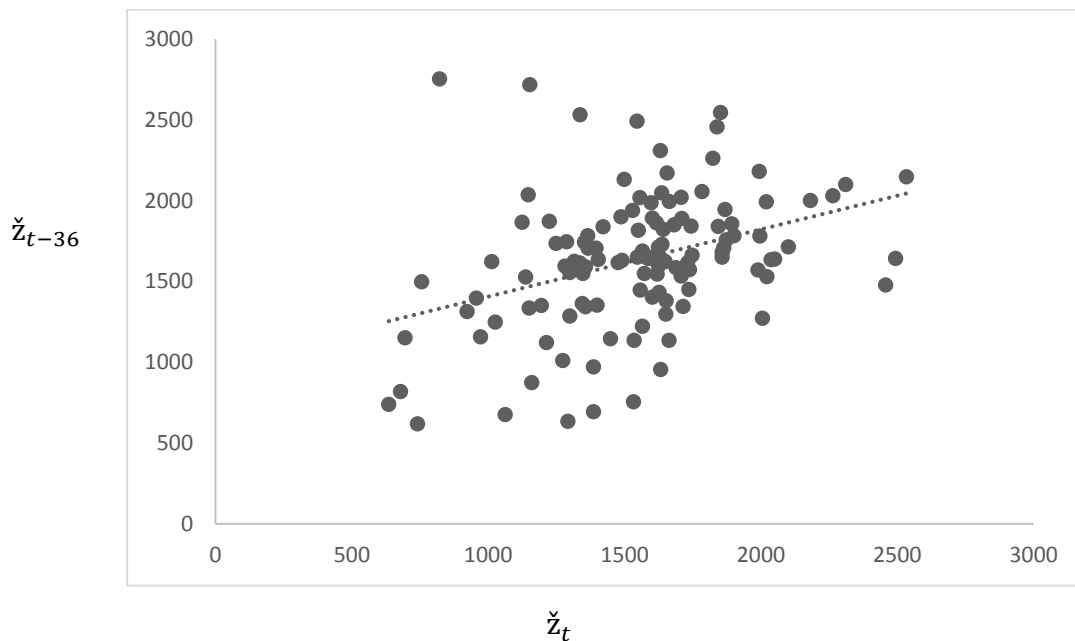
Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.4.4. Relación con observaciones de tres años anteriores**

Descartando la posibilidad de seguir el análisis gráfico con relaciones entre realizaciones con espacios mayores de 3 meses, se procede a analizar el efecto de las heladas del Brasil en las realizaciones ya que parecieran tener una incidencia cada 3 años, es decir cada 36 meses. Por lo que la figura 10 nos enseña la relación de las realizaciones con 36 meses de diferencia, se observa una correlación positiva y aparentemente significativa para poder incorporar un componente estacional en el modelo.

El siguiente paso debe ser observar las funciones de autocorrelación estimadas acf y pacf.

Figura 14. **Representación de la relación de las observaciones con aquellos 36 meses antes (miles de sacos de café de 60 Kg)**



Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Funciones de autocorrelación teóricas

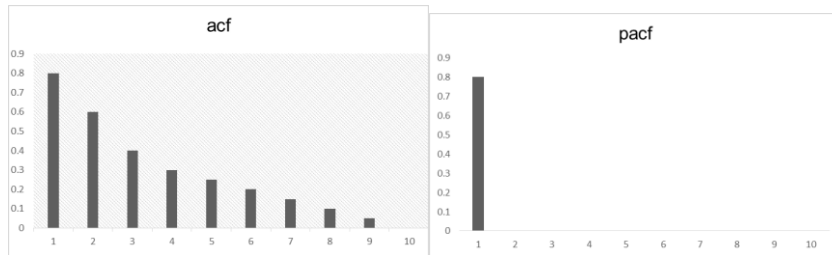
Cada tipo de modelo UBJ-ARIMA tiene formas definidas para las funciones teóricas de autocorrelación, la tarea es interpretar las funciones estimadas a partir de la realización para poder identificar el modelo a construir. Estas se presentan extensivamente en la literatura, pero para propósitos de ilustración se presentan aquellas para los Modelos AR(1) y MA(1).

#### 4.3.1. Modelos AR(1)

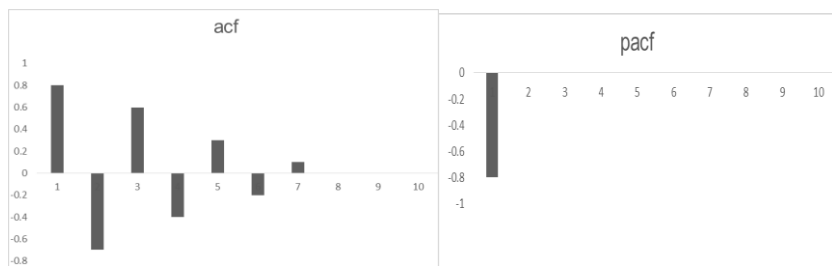
En la figura 15 se presenta las funciones teóricas acf y pacf para los modelos AR(1).

Figura 15. **Funciones teóricas acf y pacf para procesos estacionarios AR(1)**

Ejemplo 1:  $\phi_1$  es positivo



Ejemplo 2:  $\phi_1$  es negativo

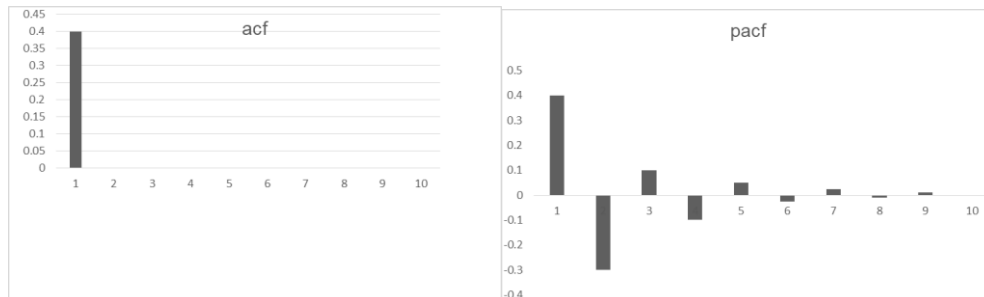


Fuente: elaboración propia.

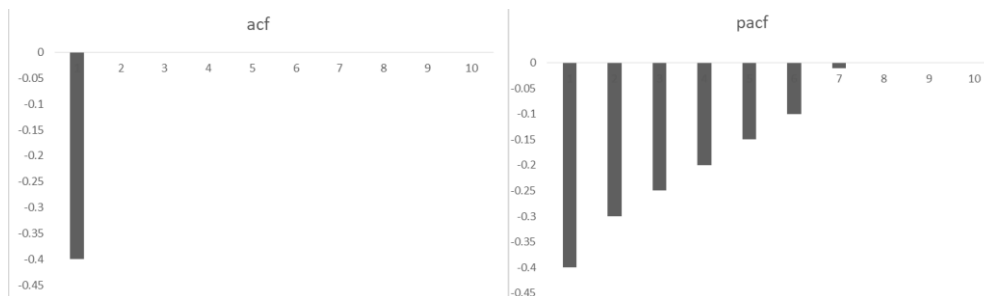
#### 4.3.2. Modelos MA(1)

En la figura 16 se presenta las funciones teóricas acf y pacf para los modelos MA(1).

Figura 16. **Funciones teóricas acf y pacf para procesos estacionarios MA(1)**



Ejemplo 2:  $\theta_1$  es positivo



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Función estimada de autocorrelación (acf).

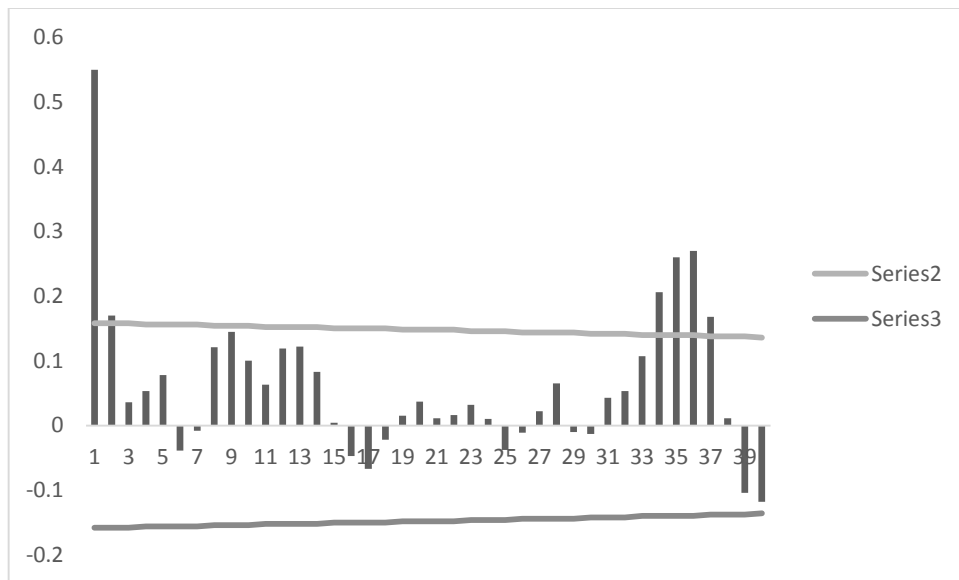
La acf muestra cómo se relaciona la variable con observaciones anteriores a esta.

##### 4.4.1. Diferenciación

La función estimada de autocorrelación es presentada en la figura 17, se observa una caída directa a valores estadísticamente iguales a cero (dentro de los límites de dos errores estándar) a partir del segundo orden. Con esta observación se concluye que se trata de una serie estacionaria (por lo que no

requiere diferenciarla para lograrlo), además de ser una indicación que se puede tratar de un proceso AR(2).

Figura 17. **Función estimada de autocorrelación (acf) y los límites estadísticos inferiores y superiores (2 s.e.)**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Modelo AR(2)

La expresión algebraica de los modelos AR(2) es la siguiente:

$$AR(2): \check{z}_t = C + \Phi_1 \check{z}_{t-1} + \Phi_2 \check{z}_{t-2} + a_t$$

Los coeficientes de este modelo se pueden estimar razonablemente por el método de mínimos cuadrados, la fórmula estándar para calcular los coeficientes de autocorrelación es:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (z_t - \check{z})(z_{t+k} - \check{z})}{\sum_{t=1}^n (z_t - \check{z})^2}$$

#### **4.4.2.1. Componente estacional**

En la figura 17, también se pueden observar saltos estadísticamente significativos alrededor del orden 36, lo que nuevamente indica la posibilidad de incluir un componente estacional del mismo orden.

#### **4.4.3. Análisis del componente estocástico de la serie**

A partir del análisis de la acf estimada, se puede considerar la serie como estacionaria.

##### **4.4.3.1. Transformación de la serie de datos**

Se procede, entonces a transformar la serie presentada en la tabla I, restándole el promedio de la misma (procedimiento parecido al de estandarización) para poder enfocar el análisis en la parte estocástica de la realización, es decir  $a_t$ . , dicha serie es presentada en la tabla III.

En la figura 14 se presenta esta nueva serie y se observa que excepto el promedio que es cero, sus características son idénticas a las de la serie inicial presentada en la figura 6, esta serie permite enfocar el estudio en el aspecto estocástico de las realizaciones.

Tabla III. **Transformación de la serie estacionaria presentada en la tabla I, para enfocarse en la parte estocástica del proceso (at) (Datos expresados en miles de sacos de 60 Kg.)**

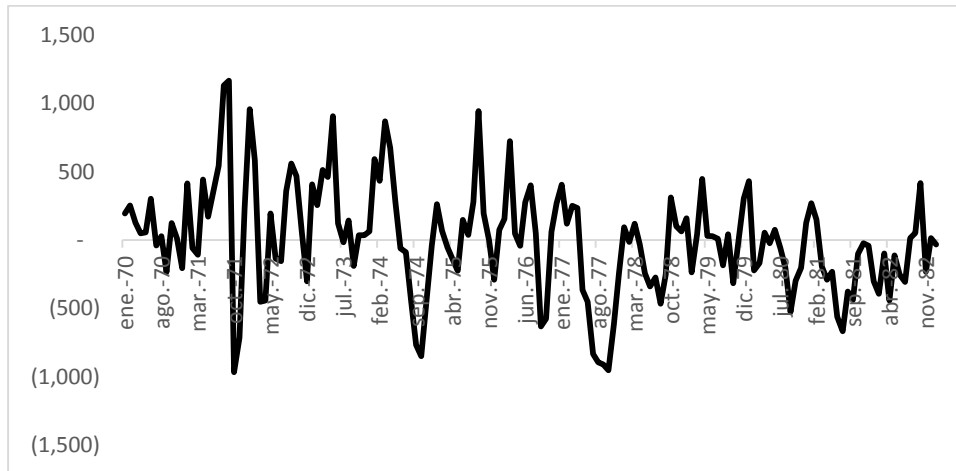
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Enero	195	414	959	408	594	264	76
Febrero	253	(58)	584	256	434	68	156
Marzo	128	(108)	(451)	513	869	(53)	723
Abril	51	444	(442)	462	676	(140)	48
Mayo	56	171	196	906	285	(223)	(42)
Junio	303	353	(136)	122	(59)	148	276
Julio	(38)	544	(154)	(15)	(89)	38	401
Agosto	28	1 132	359	143	(436)	280	49
Septiembre	(233)	1 166	561	(189)	(767)	945	(632)
Octubre	125	(967)	469	36	(848)	196	(575)
Noviembre	9	(713)	55	36	(429)	(1)	61
Diciembre	(206)	230	(300)	64	(38)	(289)	270

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Enero	406	94	159	432	270	(301)	(32)
Febrero	119	(13)	(235)	(222)	150	(393)	
Marzo	251	119	43	(167)	(193)	(98)	
Abril	236	(31)	449	54	(289)	(441)	
Mayo	(364)	(243)	31	(22)	(232)	(112)	
Junio	(451)	(339)	29	75	(562)	(253)	
Julio	(832)	(272)	9	(55)	(666)	(306)	
Agosto	(893)	(464)	(184)	(202)	(375)	14	
Septiembre	(910)	(251)	44	(526)	(438)	52	
Octubre	(953)	313	(315)	(296)	(101)	417	
Noviembre	(616)	101	5	(202)	(23)	(232)	
Diciembre	(241)	63	305	127	(41)	14	

Fuente: elaboración propia.



Figura 18. **Serie de datos de la tabla III (estandarización) (miles de sacos de café 60 Kg)**

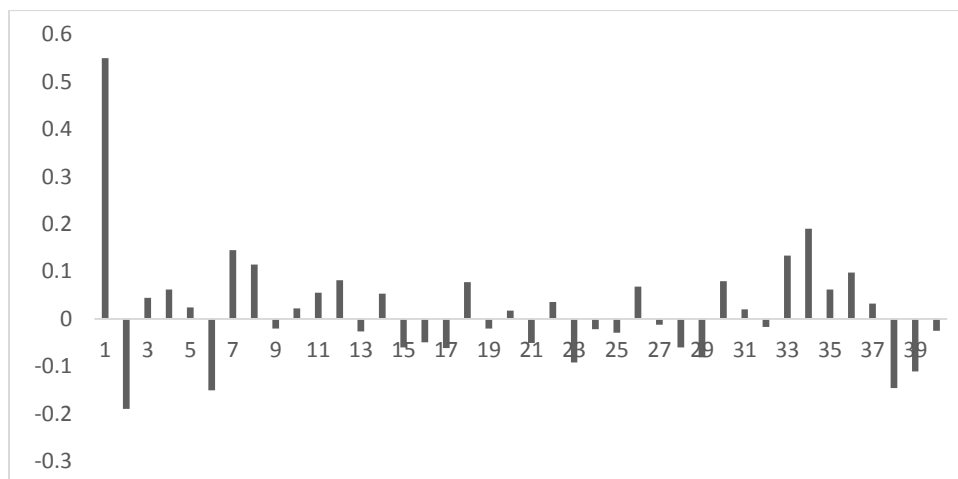


Fuente: elaboración propia.

#### 4.5. **Función estimada de autocorrelación parcial (pacf)**

La función estimada de autocorrelación parcial se presenta en la figura 19. Se pueden observar dos observaciones estadísticamente significativas en las primeras dos observaciones y luego aparece otro pico a la 34ava observación.

Figura 19. **Función estimada de autocorrelación parcial (pacf)**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5.1. Modelo MA(2)

Dicha grafica sugiere evaluar un modelo MA (2) y también el impacto estacional. El modelo MA (2) a estimar se presenta en la siguiente ecuación:

$$\text{MA (2): } \check{z}_t = C + \theta_1 a_{t-1} + \theta_2 a_{t-2} + a_t$$

En la figura 19, se pueden observar picos o saltos estadísticamente significativos alrededor del orden 36, lo que nuevamente indica la posibilidad de también incluir un componente estacional del mismo orden, para este tipo de modelo.



## 5. MEJORA CONTINUA

El proceso de mejora continua implica revisar los modelos seleccionados con sus respectivas conclusiones, pero igual de importante será la aplicación al dato más reciente y a otras variables que sean de interés para la organización.

### 5.1. Resultados obtenidos

A partir de los dos modelos que se identifican por las funciones estimadas de autocorrelación ARIMA (2,0,0)(0,0,0) o AR(2) y ARIMA (0,0,2)(0,0,0) o MA(2) se estudiaron doce posibles modelos, además se tomó en consideración el criterio de buscar modelos con menos coeficientes (parsimoniosos) y el impacto de las heladas en el Brasil con una recurrencia de 36 meses. En la tabla IV se presenta un resumen de las principales características de dichos modelos.

Cuando un modelo es estadísticamente bueno es cuando los residuos de su estimación no están correlacionados. Es decir que se debe evaluar la acf de los residuos y estos deben comportarse como una distribución normal (aproximada por la distribución Chi cuadrada).

La prueba estadística de Box-Pierce se calcula y se compara con la Chi cuadrada (  $\chi^2$  ) para 95 % de confianza. Siendo menor podemos decir que las correlaciones de los residuos no son estadísticamente diferentes a cero, este es el caso de todos los modelos presentados en la tabla IV.

Tabla IV. **Resumen de las principales características de los modelos evaluados**

No.	Modelo	SSR	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	BOX-PIER(t-estad.1	t-estad.2	t-estad.3	t-estad. Prom.	
1	ARIMA (1,0,0) (0,0,0)	329,8	0,289	53,4	42,82	8,247		54,605	
2	ARIMA (2,0,0) (0,0,0)	324,9	0,319	52,2	33,86	8,28	2,391	37,882	
3	ARIMA (2,0,0) (1,0,0)36	327,3	0,309	51,0	28,08	8,377	-1,871	1,888	42,397
4	ARIMA (2,0,0) (0,0,1)36	313,9	0,364	51,0	43,81	6,23	-2,084	-91,049	40,899
5	ARIMA (1,0,0) (0,,0,1)36	316,5	0,354	52,2	47,24	5,532		-21.43	40,9
6	ARIMA (1,0,0) (1,0,0)36	328,1	0,305	52,2	45,0	8,099	1,864		41,041
7	ARIMA (0,0,1) (0,0,0)	329,7	0,299	53,4	45,23	8,613			38,736
8	ARIMA (0,0,2) (0,0,0)	325,1	0,318	52,2	34,26	8,148	2,7		33,744
9	ARIMA (0,0,2) (1,0,0)36	326,2	0,313	51,0	29,0	8,139	2,681	1,524	45,228
10	ARIMA (0,0,2) (0,0,1)36	312,4	0,37	51,0	42,29	6,217	0,324	20,977	42,911
11	ARIMA (0,0,1) (0,0,1)36	311,9	0,372	52,2	44,43	7,126	20,425		43,829
12	ARIMA (0,0,1) (1,0,0)36	329,9	0,298	52,2	36,81	9,123	1,882		47,39

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.1. Interpretación y análisis

Cabe resaltar que para cada uno de los modelos evaluados tanto la constante (promedio) como el primer término posee t-estadísticas por arriba de 2, es decir son estadísticamente diferentes de cero con un 95 % de confianza. Es decir, la serie es estacionaria y un indicador fuerte de nuestra proyección es el valor de la realización del mes anterior. Por otro lado, todos los modelos con componente estacional en la tabla IV (3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 y 12) presentaron saltos fuertes en sus análisis residuales alrededor del periodo 34, 35 y 36, lo que indica que los modelos no representan toda la información disponible en la serie de datos.

En consecuencia, los modelos seleccionados son los números 1, 2, 7 y 8. Los modelos de segundo orden (2 y 8) son menos parsimoniosos (tienen un término más) pero tienen menor SSR (suma cuadrada de errores) y menores estadísticas de Box-Pierce las que indican mayor independencia de residuos.

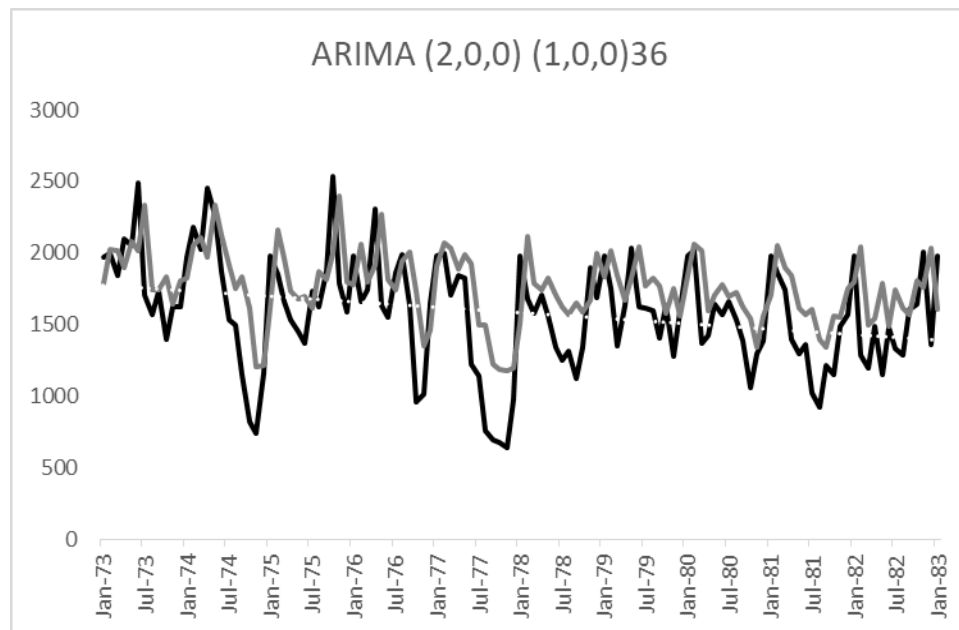
### 5.1.2. Aplicación

Como se indicó anteriormente, el modelo ARIMA (2, 0, 0) (1, 0, 0)36, en su análisis residual, presenta correlaciones significativas a 5 y 34 periodos por lo que solo se presentará su modelaje para ilustración. Personalmente me inclino por seleccionar al modelo ARIMA (0,0,2)(0,0,0) o MA(2) como mejor opción, estadísticamente es igual de sólido que el modelo ARIMA (2,0,0) (0,0,0) o AR(2).

Estos tres modelos son presentados en las figuras 20, 21 y 22.

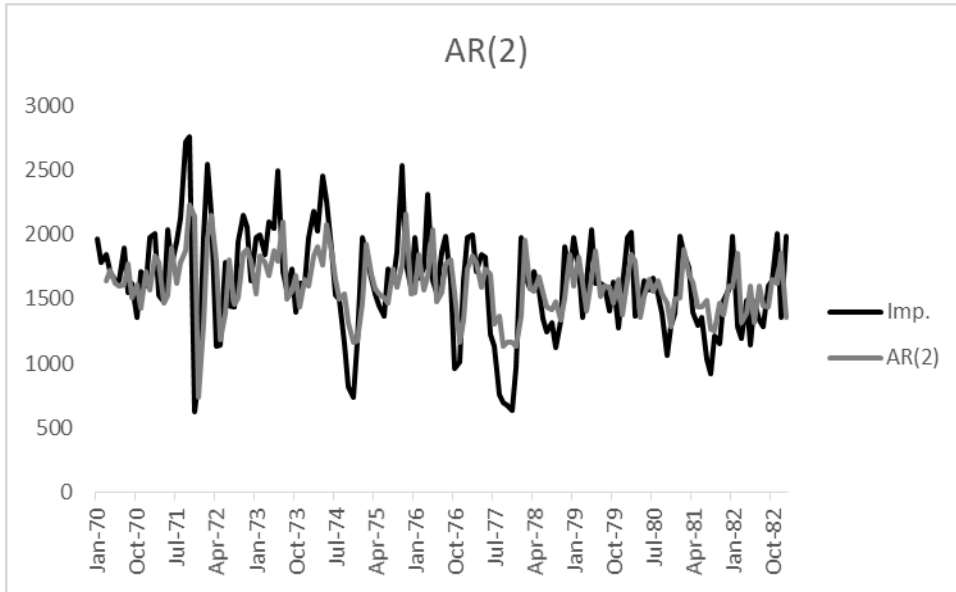
Figura 20. **Modelo ARIMA (2,0,0)(1,0,0)36.**

$$\hat{z}_t = 727.9 + 0.652\hat{z}_{t-1} - 0.107\hat{z}_{t-2} + 0.107\hat{z}_{t-36}$$



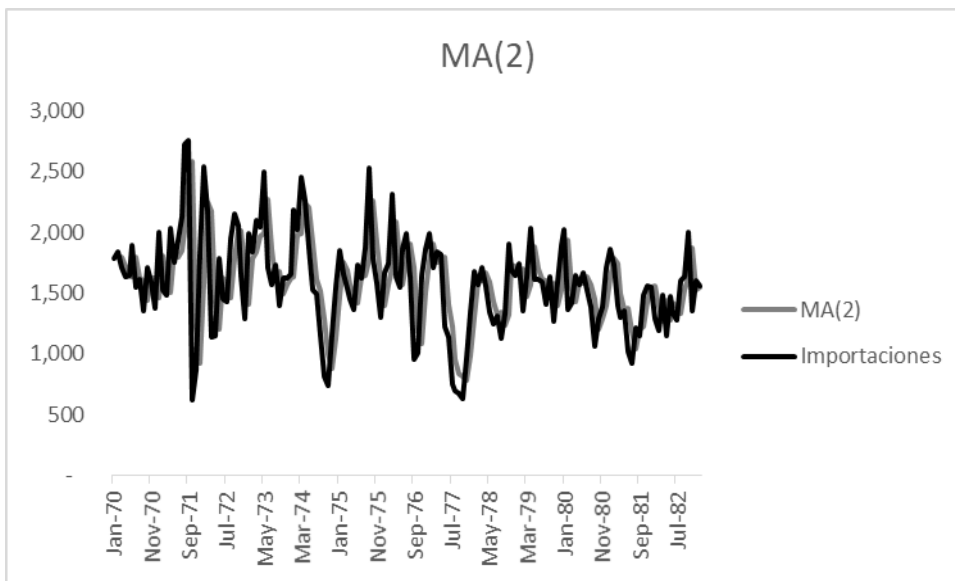
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Modelo AR(2)**  $\hat{z}_t = 848 + 0.655z_{t-1} - 0.189z_{t-2}$



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Modelo MA(2)**  $\hat{z}_t = 1589 + 0.643a_{t-1} + 0.215 a_{t-2}$



Fuente: elaboración propia.

### **5.1.3. Administración del modelo**

La administración del modelo es una responsabilidad de la organización delegada principalmente al área de Mercadeo y Ventas.

Los puntos destacados de los modelos finales son congruentes con la teoría moderna de finanzas y se presentan en las conclusiones de la tesis.

Mercadeo y Ventas valida con información actualizada la solidez del modelo y periódicamente corre el proceso para incorporar nueva información al modelo, por lo menos una vez al año. Los modelos UBJ-ARIMA pueden aplicarse a las variables que seleccione la gerencia dentro de las necesidades y prioridades de la organización.

## **5.2. Ventajas y beneficios**

La responsabilidad de los ejecutivos es llevar y construir el futuro que las organizaciones aspiran a alcanzar. Pronosticando aceptablemente el valor futuro de las variables de interés de la organización, proporciona una oportunidad de tomar decisiones acertadas para los objetivos de la empresa. Dentro de las diferentes áreas de la organización los modelos UBJ-ARIMA son empleados para pronosticar variables que en el corto plazo permiten tomar mejores decisiones.

### **5.2.1. Administrativas**

El área administrativa se beneficia en la planificación de los recursos financieros de la organización.



### **5.2.2. Estratégicas**

Con pronósticos aceptables, primordialmente, se definen tácticas comerciales que maximicen los ingresos de la empresa y estrategias de compra y logística que garanticen la disponibilidad de producto.

### **5.2.3. Económicas**

Dentro de la incertidumbre propia de cada negocio, los pronósticos de los modelos UBJ-ARIMA permiten la toma de decisiones que optimiza la rentabilidad de la operación.

## **5.3. Costos**

Los costos fijos han sido absorbidos previamente por la organización, siendo los principales: equipo técnico (software y hardware), instalaciones y planillas.

### **5.3.1. Incrementalidad**

Los beneficios para la organización son incrementales ya que, siendo los costos absorbidos por la organización actual, la aplicación en diferentes áreas y variables se reflejará inicialmente como un beneficio incremental. En otro tipo de organización y dependiendo de su uso podría eventualmente requerir de una posición especializada para esta función.

#### **5.4. Acciones correctivas**

Los modelos UBJ-ARIMA proporcionan diferentes pronósticos que son utilizados por las diferentes áreas de la organización. Los modelos se revisan para incorporar información reciente que se encuentra en las nuevas realizaciones. Las áreas de aplicación de las medidas correctivas o decisiones primordiales de acuerdo a cada departamento de la empresa se presentan a continuación.

##### **5.4.1. Gerencia**

Revisiones periódicas, dependiendo del modelo aplicado, generalmente para aprobación (definición de límites de tolerancia) y toma de decisiones generales.

##### **5.4.2. Mercadeo y Ventas**

Análisis de varianza con respecto a volúmenes demandados, ventas, precios, participación de mercado, entre otros.

##### **5.4.3. Logística**

Análisis de varianza con respecto a volúmenes, capacidades de producción, abastecimiento, transporte y almacenamiento.

##### **5.4.4. Finanzas**

Análisis de varianza con respecto a tasas de cambio e índices financieros relevantes (Empresariales y Macroeconómicos).

## **5.5. Seguimiento**

La utilización de los modelos requiere de su seguimiento y actualización. Estos se realizan periódicamente (semanal, mensual o anualmente según sea cada caso). Estas actividades se presentan de acuerdo al área de responsabilidades:

### **5.5.1. Gerencia**

Decisión de variables a utilizar y aprobación de los modelos.

### **5.5.2. Mercadeo y Ventas**

Construcción de nuevos modelos para las series del tiempo seleccionadas.

### **5.5.3. Logística**

Proponer dentro de su especialidad nuevas variables para la metodología UBJ-ARIMA.

### **5.5.4. Acciones correctivas**

Estas se deciden a nivel gerencial y se implementan con la participación y coordinación de las áreas involucradas.

## CONCLUSIONES

1. El modelo seleccionado indica que el mejor pronóstico debe basarse en las dos últimas observaciones, lo que implica un comportamiento aleatorio. La conclusión se aplica directamente a los precios por lo que los mismos reflejan la información disponible sobre su mercado. Con este análisis no es posible detectar una imperfección del mercado del café.
2. Al no encontrarse imperfecciones en el mercado, no existe la posibilidad de obtener ganancias por arriba de las normales en la comercialización de las exportaciones de café.
3. El modelo seleccionado para la serie de importaciones de café dentro de los Estados Unidos de América es del MA(2).
4. Con los modelos Box-Jenkins (ARIMA) no es posible establecer una tendencia o una estacionalidad en los volúmenes importados de café dentro de los Estados Unidos. Es decir, que con esta familia de modelos estadísticos y esta serie de datos no se puede detectar ningún impacto que haga sospechar la existencia de una tendencia en el impacto del clima, (particularmente heladas en Brasil).
5. Un modelo MA(2) es la segunda mejor aproximación a un evento aleatorio por lo que prácticamente el volumen de importaciones sigue un proceso denominado caminata aleatoria.

6. Con los modelos Box-Jenkins no se detecta una tendencia o ciclo en los volúmenes de importación de café dentro de los Estados Unidos de América por lo que tampoco se demuestra un ciclo que pueda afectar a los precios internacionales del café, este resultado es consistente con la teoría moderna de finanzas (mercados eficientes) y su aplicación al estudio de los precios internacionales del café.
  
7. Los modelos UBJ-ARIMA requieren de un análisis estadístico a la vez de mucha creatividad y experiencia del administrador de los mismos.

## RECOMENDACIONES

1. En la toma de decisiones comerciales y logísticas, es importante entender que los modelos ARIMA señalan una clara consistencia con las teorías modernas de finanzas corporativas en cuanto a que el mercado del café aparenta un comportamiento eficiente en la década de 1970 a 1980.
2. Un análisis similar con los precios del mismo (a diferencia de utilizar los volúmenes como un indicador) debieran validar la recomendación anterior. Este estudio confirmaría si tampoco los precios del café (internacionalmente) manifiestan una tendencia o estacionalidad durante dicho periodo.
3. El modelo seleccionado es un MA(2), este debe validarse y actualizarse periódicamente.
4. Los resultados de este estudio no encuentran ninguna tendencia en cuanto a los cambios climáticos, para corroborar dicho punto se recomendaría analizar otro periodo u otro producto de interés para Guatemala, tal podría ser el caso del azúcar.
5. Las diferentes capacidades de producción, almacenaje, transporte se deben planificar con uso de tercerización para poder asimilar el comportamiento aleatorio del mercado.

6. Seguir una política de promediar los precios de comercialización ya que los volúmenes y consecuentemente los precios presentan un comportamiento aleatorio.
  
7. Finalmente se recomienda a las personas interesadas en la aplicación de los modelos UBJ-ARIMA empezar a practicar el modelaje de diferentes series de su interés para que a través de la práctica se logren desarrollar mejores modelos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALCHIAN, Armen., ALLEN, William R. *Exchange and Production: Competition, Coordination, and Control*. United States of America: 2a. ed. Wadsworth Publishing Company, 1977 Inc. ISBN-0-534-00493-8. 510 p.
2. BREALEY, Richard., MYERS, Stewart. *Principles of Corporate Finance*. United States of America. McGraw-Hill Company, 1981. ISBN 0-07-007380-5. 794 p.
3. BUDNICK, Frank S., MOJENA, Richard., VOLLMANN, Thomas E. *Principles of Operations Research for Management*. United States of America: Richard D. Irwin Inc. 1977. 756 p.
4. CHURCHILL, Gilbert A. *Marketing Research*. United States of America: 3a. ed. The Dryden Press.1983 ISBN 0-03-060608-X. 756 p.
5. DERVITSIOTIS, Kostas N. *Operations Management*. United States of America: McGraw-Hill Book Company, 1981 ISBN 0-07-016537-8. 771 p.
6. GRANT, Eugene L., LEAVENWORTH, Richard S. *Statistical Quality Control*. United States of America: 4a. ed. McGraw-Hill Book Company, 1972. 694 p.



7. HARNETT, Donald L. *Statistical Methods*. United States of America: 1a. ed. Addison-Wesley Publishing Company. ISBN 0-201-03913-3, 1982. 730 p.
8. JENSEN, Michael C., SMITH, Clifford W. *The Modern Theory of Corporate Finance*. United States of America. McGraw-Hill, 1984 Inc. ISBN 0-07-032473-5. 773 p.
9. MECKLING, William. *Values and the choice of the model of the individual in the social sciences (REMM)*. United States of America. Center for Research in Government Policy & Business. G.S.M. University of Rochester, 1976. 25 p.
10. MILLER, Roger LeRoy. *Intermediate Microeconomics*. McGraw-Hill Company, 1982. ISBN 0-07-042159-5. 501 p.
11. NETER, John., WASSERMAN, William., KUTNER, Michael H. *Applied Linear Regression Models*. United States of America. Richard D. Irwin, Inc, Homewood, Illinois, 1983. 60430. ISBN 0-256-02547-9. 547 p.
12. PANKRATZ, Alan. *Forecasting with univariate Box-Jenkins Models. Concepts and Cases. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics*. United States of America. By John Wiley and Sons, Inc., 1983. SSN 0271-6356. 562 p.

13. WAGNER, Regina. *Historia del Café de Guatemala*. Bogotá D.C. Colombia Benjamin Villegas & Asociados, 2001. ISBN 958-96982-8-X. 223 p.

