

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL



TESIS DE GRADO

**MODELACIÓN DE REDES NEURONALES PARA LA TOMA DE DECISIONES
DE IMPACTO ECONÓMICO, CASO DE ESTUDIO: SECTOR PRODUCTIVO
OLEAGINOSO**

POSTULANTE: UNIV. JUAN PABLO CHUQUIMIA TOVAR

TUTOR: ING. JUAN CARLOS IGNACIO GARZON

LA PAZ - BOLIVIA

2019

DEDICATORIA

*A mi querida madre que con mucho esfuerzo, amor y paciencia
lleno mi corazón y alumbro mi camino, hasta que al fin aprendí
que nunca podre dejar de luchar porque
mis sueños estarán ahí sin dudarlos.*

*Y a mi querido padre que vive en mi recuerdo,
sus sueños y enseñanzas aún vibran en mi interior
y junto a mi promesa,
nos unirán por siempre.*

AGRADECIMIENTOS

A dios por dejarme ser parte de mi hermosa familia y rodearme de gente maravillosa, y por brindarnos salud y amor.

A mi tutor que sus consejos, enseñanzas y experiencia me ayudo bastante a mi formación académica.

A mis amigos de colegio, amigos de universidad y trabajo, en especial a Roger Irusta, Salvador Sejas, Steffi Lupa, Diego Ramírez, Jimmy Linares, Pilar Calderon y a Mauricio de la Torre.

A Moises Murillo quien me dio toda la confianza y enseñanza que fueron de gran ayuda para mi desenvolvimiento profesional.

Y finalmente a mis hermanos Marcela, Javier y Micaela que siempre me motivaron y apoyaron mis objetivos.

PREFACIO

La intervención de las políticas del gobierno referentes al sector productivo tiene como objetivo de incrementar e incentivar el consumo y a su vez la producción para obtener un mayor nivel de ingresos. Cuantificar y representar en modelos matemáticos el impacto económico causado por esas decisiones gubernamentales genera un reto desde la perspectiva del productor, ya que está influenciada por comportamientos de diferentes actores y la complejidad de su resolución. Para representar estos sistemas dinámicos y complejos, se debe implementar nuevos métodos que son un bien escaso para muchas empresas estratégicas, como lo es el sector oleaginoso, por lo que genera la necesidad de realizar nuevas investigaciones científicas sobre su diseño, con el objetivo de ser una herramienta eficaz en la toma de decisiones, introduciendo a la investigación las redes neuronales.

PREFACE

The intervention of government policies related to the productive sector aims to increase and encourage consumption and in turn production to obtain a higher level of income. Quantifying and representing in mathematical models the economic impact caused by these governmental decisions generates a challenge from the perspective of the producer, since it is influenced by behaviors of different actors and the complexity of their resolution. To represent these dynamic and complex systems, new methods must be implemented that are a scarce resource for many strategic companies, such as the oilseed sector, which generates the need to carry out new scientific research on their design, with the aim of being an effective tool in decision making, introducing neural networks to research.

INDICE

1	CAPÍTULO - INTRODUCCIÓN.....	18
1.1	INTRODUCCIÓN.....	18
1.2	ANTECEDENTES.....	19
1.3	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.3.2	ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DEL PROBLEMA	23
1.3.3	SOLUCIÓN TENTATIVA.....	23
1.3.4	TOMA DE DECISIONES	24
1.4	PROBLEMÁTICA.....	24
1.4.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.5	OBJETIVOS.....	29
1.5.1	OBJETIVO GENERAL.....	29
1.5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
1.6	JUSTIFICACIÓN.....	29
1.6.1	JUSTIFICACIÓN ACADEMICA	29
1.6.2	JUSTIFICACIÓN ECONOMICA-SOCIAL	30
1.6.3	JUSTIFICACIÓN METODOLOGICA	30
1.6.4	JUSTIFICACIÓN LEGAL	30
1.7	HIPOTESIS	31
1.7.1	PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS	31
1.7.2	ESTRUCTURA DE LA HIPOTESIS.....	31
2	CAPÍTULO - ANÁLISIS MACROECONÓMICO DE LA ECONOMÍA DE BOLIVIA Y SU INCIDENCIA EN EL SECTOR EMPRESARIAL.....	33

2.1	INTRODUCCIÓN.....	33
2.2	PRODUCTO INTERNO BRUTO	34
2.2.1	MEDICIÓN DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO	37
2.2.1.1	METODO DE VALOR AGREGADO.....	37
2.2.1.2	METODO DE GASTO.....	41
2.2.1.3	METODO DE INGRESO.....	42
2.3	INDICE DE PRECIOS.....	42
2.4	AGREGADOS MONETARIOS	45
2.5	MODELO IS-LM.....	46
2.6	SECTOR OLEAGINOSO - CASO DE ESTUDIO	48
2.7	PRODUCCIÓN DEL SECTOR OLEAGINOSO	49
2.7.1	DIAGNÓSTICO SECTORIAL	49
2.7.2	ACTORES DEL COMPLEJO SOYERO DE BOLIVIA	56
2.7.3	DISPONIBILIDAD DE RECURSOS.....	57
2.8	CLÚSTER DE LA SOYA.....	58
2.9	IMPACTO ECONOMICO.....	59
2.9.1	PRODUCTO INTERNO BRUTO	59
2.9.2	VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN DE LAS OLEAGINOSAS	62
2.10	ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	63
2.10.1	MERCADO INTERNACIONAL.....	63
2.11	SECTORES INSTITUCIONALES.....	67
2.11.1	ASOCIACIÓN NACIONAL PRODUCTORES DE OLEAGINOSAS Y TRIGO (ANAPO).....	67

2.11.2	CÁMARA NACIONAL DE INDUSTRIAS OLEAGINOSAS DE BOLIVIA (CANIOB).....	67
2.11.3	CÁMARA AGROPECUARIA DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DEL ORIENTE (CAPPO).....	67
2.11.4	ASOCIACIÓN COMUNITARIA INTEGRAL DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS DE CUATRO CAÑADAS (ACIPACC).....	68
2.11.5	FEDERACIÓN SINDICAL ÚNICA DE TRABAJADORES CAMPESINOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS DE LAS CUATRO PROVINCIAS DEL NORTE (FSUTCPA-4PN).....	68
2.12	CAMBIOS INSTITUCIONALES.....	68
2.12.1	CAMBIOS INSTITUCIONALES INTERNOS	69
2.12.2	CAMBIOS INSTITUCIONALES EXTERNOS	70
2.13	CONCLUSIONES.....	71
3	CAPÍTULO – ECONOMETRÍA DE SERIES DE TIEMPO, ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA ECONÓMICO DE CONTROL. -	72
3.1	INTRODUCCIÓN.....	72
3.2	CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	73
3.2.1	PROCESO ESTOCASTICO Y NO ESTOCASTICO	73
3.2.2	MINIMOS CUADRADOS ORDINARIOS	75
3.3	MODELACIÓN DE SERIES DE TIEMPO	77
3.3.1	PRUEBAS DE ESTACIONARIEDAD.....	78
3.3.1.1	ANÁLISIS GRAFICO.....	78
3.3.1.2	FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN Y CORRELOGRAMA	78
3.3.1.3	RAIZ UNITARIA.....	80
3.3.1.4	ANÁLISIS DE MEDIA Y VARIANZA DE RESIDUOS	82

3.3.2	TRANSFORMACIÓN DE SERIES DE TIEMPO NO ESTACIONARIAS	
	83	
3.4	EVALUACIÓN DE LA SALIDA DEL MODELO ESTACIONARIO	84
3.5	CREACIÓN DE MODELOS AR, MA, ARIMA PARA SERIES DE TIEMPO	
	85	
3.5.1	PROCESO AUTORREGRESIVO – MODELO AR	85
3.5.2	PROCESO DE MEDIAS MOVILES – MODELO MA.....	85
3.5.3	PROCESO AUTORREGRESIVO Y DE PROMEDIOS MOVILES - MODELOS ARMA	86
3.5.4	PROCESO AUTORREGRESIVO INTEGRADO Y DE PROMEDIOS MOVILES - MODELOS ARIMA.....	86
3.6	METODOLOGIA DE BOX JENKINS.....	86
3.7	ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DEL SISTEMA DE CONTROL ECONOMICO OLEAGINOSO	87
3.7.1	FUNCIÓN DE PRECIOS DEL SECTOR OLEAGINOSO	88
3.7.1.1	ANÁLISIS DE PRECIOS DEL GRANO DE SOYA	88
3.7.2	FUNCIÓN DE LA DEMANDA.....	94
3.7.2.1	ANÁLISIS FUNCIÓN DE DEMANDA.....	94
3.8	CONCLUSIONES.....	96
4	CAPÍTULO – FUNCIONES DE TRANSFERENCIA.....	98
4.1	INTRODUCCIÓN.....	98
4.2	IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS	100
4.3	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA	102
4.3.1	SISTEMAS DE ORDEN CERO.....	104
4.3.2	SISTEMAS DE PRIMER ORDEN	104

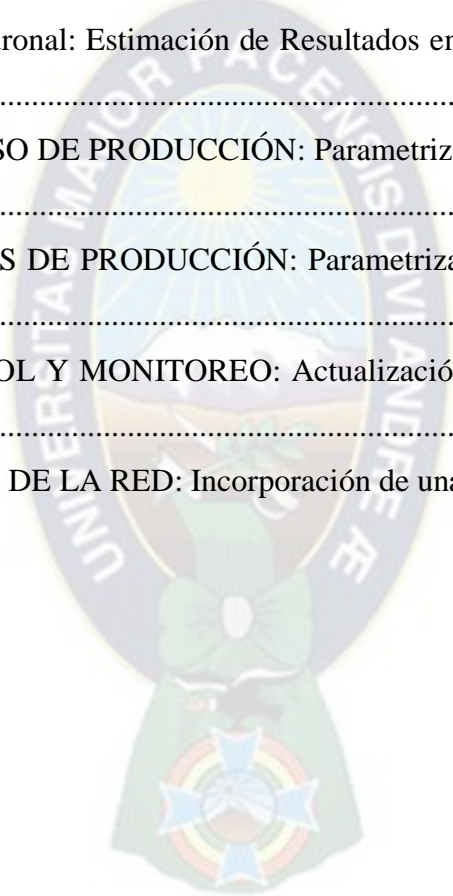
4.3.3	SISTEMAS DE SEGUNDO ORDEN	105
4.4	CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	108
4.4.1	SISTEMAS DISCRETOS.....	108
4.4.2	ESTABILIDAD DE UN SISTEMA DISCRETO	108
4.4.3	TRANSFORMADA DE FOURIER DE UNA SECUENCIA.....	109
4.4.4	TRANSFORMADA DE LAPLACE DE UNA SECUENCIA.....	109
4.5	MODELACIÓN DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA	110
4.6	DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN REAL. -	111
4.7	DISEÑO DEL SUBSISTEMA DEL CONTROLADOR.....	118
4.8	FUNCIONES DE IMPULSO RESPUESTA	121
4.9	RESOLUCIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA	125
4.10	APLICACIÓN VISUAL BASIC PARA EXCEL.-	126
4.11	CONCLUSIONES.....	127
5	CAPÍTULO – DISEÑO DE MODELO DE REDES NEURONALES	
	ARTIFICIALES.....	128
5.1	INTRODUCCIÓN.....	128
5.2	CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	128
5.2.1	APRENDIZAJE ADAPTATIVO	132
5.2.2	AUTOORGANIZACIÓN.....	132
5.2.3	TOLERANCIA A FALLOS.	133
5.2.4	OPERACIÓN EN TIEMPO REAL	134
5.2.5	FÁCIL INSERCIÓN DENTRO DE LA TECNOLOGÍA EXISTENTE.	134
5.2.6	REDES NEURONALES Y COMPUTADORAS DIGITALES.....	134
5.3	CLASIFICACIÓN DE REDES NEURONALES	135

5.4	SELECCIÓN DE RED NEURONAL.....	136
5.5	DISEÑO DE LA RED NEURONAL.....	137
5.6	CONSTRUCCIÓN DE LA RED NEURONAL	140
5.7	ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL	140
5.8	APLICACIÓN VISUAL BASIC	143
5.9	VALIDACIÓN DE HIPOTESIS.....	145
5.10	CONCLUSIONES. -	149
6	CAPÍTULO – CONTROL Y MONITOREO DE LA RED NEURONAL	150
6.1	INTRODUCCIÓN.....	150
6.2	MONITOREO Y EVALUACIÓN	150
6.3	PARAMETRIZACIÓN DE LA RED NEURONAL	152
6.4	INCORPORACIÓN DE NUEVAS VARIABLES A RED NEURONAL	155
6.5	CENTROS DE INFORMACIÓN	155
6.6	CONCLUSIONES.....	156
7	CONCLUSIONES	157
8	BIBLIOGRAFÍA	160

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-Bolivia: Flujo Circular del Gasto e Ingreso, 2018.....	35
Figura 2.2 - BOLIVIA: Simulador Relación de la Curva IS – LM, 1988-2018	47
Figura 2.3 - BOLIVIA: Superficie Cultivada, Producción por Zonas 2017(p)	53
Figura 2.4 - BOLIVIA: Superficie Cultivada, Producción por Municipios 2017(p)	54
Figura 2.5 - BOLIVIA: Superficie Cultivada, Producción por Provincias 2017(p)	55
Figura 2.6- BOLIVIA: Esquema General del Complejo Oleaginoso, 2018	57
Figura 2.7 - BOLIVIA: Clúster de la Soya, 2018.	59
Figura 4.1-FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Procedimiento para identificación de modelos de sistema de control	101
Figura 4.2 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Métodos Identificación de modelos de sistema de control.....	101
Figura 4.3 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Esquematización de la Función de Transferencia en Lazo Abierto.....	102
Figura 4.4 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA, Esquema de un sistema Económico	110
Figura 4.5 – BOLIVIA: Producto Interno Bruto, Descomposición de la Demanda, 1988-2012.....	117
Figura 4.6 - Lazo Cerrado: Diseño del Subsistema del Controlador	118
Figura 4.7 - Lazo Cerrado: Diseño del Subsistema del Controlador	120
Figura 4.8 - Sector Agrícola: Función de Impulso Respuesta.....	122
Figura 4.9 - Sector Industria Manufacturera: Función de Impulso Respuesta.	123
Figura 4.10 - Sector Productos Diversos: Función de Impulso Respuesta.....	124
Figura 4.11 - Sector Restaurante: Función de Impulso Respuesta.....	125
Figura 4.12 – SISTEMA DE CONTROL ECONOMICO: Gráfica de solución de la producción real respecto al Tiempo Requerido	126
Figura 4.13- COMPLEJO OLEAGINOSO. Aplicación de Escenarios, Evaluación de la Productividad, 2017	127
Figura 5.1 - Red Neuronal: Esquema del Proceso de Modelación de la RNA	129
Figura 5.2 - Red Neuronal: Esquema del Proceso de Aprendizaje	130

Figura 5.3 – Red Neuronal: Diseño de la estructura red neuronal	138
Figura 5.4 - Red Neuronal: Entrenamiento de la Red Neuronal,	141
Figura 5.5 - Red Neuronal: Gráfico del Estado del entrenamiento,.....	142
Figura 5.6 -Red Neuronal: Gráfico de Aprendizaje	142
Figura 5.7 – Gravelal Bolivia S.A.: Estimación de Resultados en función de Factores Externos RNA, 1988-2015.....	144
Figura 5.8 – Red Neuronal: Estimación de Resultados en función de Factores Externos, 1988-2015	145
Figura 6.1 - PROCESO DE PRODUCCIÓN: Parametrización de la Producción de Soya	152
Figura 6.2 - COSTOS DE PRODUCCIÓN: Parametrización del Balance de Materia y Energía	153
Figura 6.3 - CONTROL Y MONITOREO: Actualización Correcta de la Red Neuronal	154
Figura 6.4 - DISEÑO DE LA RED: Incorporación de una nueva variable	155



INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 - BOLIVIA: Matriculas que Cancelaron su Registro en Fundempresa, 2018.	22
Gráfico 1.2 - BOLIVIA: Encadenamientos hacia atrás y delante de la MIP, 2012.	27
Gráfico 2.1 -BOLIVIA: Tasa de Crecimiento del PIB a precios corrientes, 1980-2018.	36
Gráfico 2.2 - Bolivia: Producto Interno Bruto, según Actividad Económica, 2017-2018.	39
Gráfico 2.3 -BOLIVIA: Variación Porcentual del Sector de Industrias Manufactureras, 1988-2018	40
Gráfico 2.4 - BOLIVIA: Variación Porcentual del Sector de Agricultura, 1988-2018..	40
Gráfico 2.5 - BOLIVIA: Variación Porcentual del Sector de Industrias Manufactureras, 1988-2018	41
Gráfico 2.6 - Bolivia: Producto Interno Bruto a precios corrientes, 2017-2018.....	44
Gráfico 2.7 - Bolivia: Producto Interno Bruto a precios corrientes, 2017-2018.....	45
Gráfico 2.8 - BOLIVIA: Superficie Cultivada de Soya, 1980-2017.....	50
Gráfico 2.9 - BOLIVIA: Producción y Rendimiento del Grano de Soya, 1980-2017....	51
Gráfico 2.10 - BOLIVIA: Producción Grano de Soya Convencional y Transgénico, 1980- 2017.....	52
Gráfico 2.11 - BOLIVIA: Estratificación de trabajadores según tamaño de cultivo, 2011	57
Gráfico 2.12 - BOLIVIA: Aporte al PIB por actividad económica, 2018.	60
Gráfico 2.13 - BOLIVIA: Contribución al PIB Real (1990=100) (%), 1980-2015.....	61
Gráfico 2.14 - BOLIVIA: Valor Bruto de la Producción de Grano de Soya (Miles de Bolivianos), 1987-2015.....	62
Gráfico 2.15 - BOLIVIA: Exportaciones por Producto Oleaginoso, 2017.....	63
Gráfico 2.16 - BOLIVIA: Exportaciones por Mercado Destino, 2017.....	64
Gráfico 2.17 - BOLIVIA: Exportaciones por Medio de Transporte, 2017.....	64
Gráfico 2.18 - BOLIVIA: Exportaciones por Vías Fluviales, 2017	65
Gráfico 2.19 - BOLIVIA: Exportaciones por Carretera, 2017.....	65

Gráfico 2.20 - BOLIVIA: Exportaciones por zonas Geoeconómicas - CAN, 2017	66
Gráfico 2.21 - BOLIVIA: Exportaciones por zonas Geoeconómicas - MERCOSUR, 2017	66
Gráfico 3.1 - BOLIVIA: Precio de Exportación Grano de Soya (USD/TM), 2018.....	78
Gráfico 3.2 - ESTADÍSTICA: Función de Autocorrelación de Precio de Exportación Grano de Soya (Usd/TM), 2018.....	79
Gráfico 3.3 - ESTADÍSTICA: Función de Autocorrelación Parcial de Precio de Exportación Grano de Soya (Usd/TM), 2018.	79
Gráfico 3.4 - ESTADÍSTICA: Proceso de Integración de orden 1 - Precio Exp. de Grano de Soya (1980-2018).....	83
Gráfico 3.5 - ESTADÍSTICA: Raíces del Modelo ARIMA (1,1,3) Precio Exp. de Grano de Soya (1980-2018).....	84
Gráfico 3.6 -ANÁLISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya de Exportación De orden 1, 2023.....	89
Gráfico 3.7 - ANALISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya de Exportación De orden 1, 2017.....	90
Gráfico 3.8 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Proyección Precio de Exportación del Grano de Soya.....	90
Gráfico 3.9 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya (Sus/Tn), 2017.	91
Gráfico 3.10 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya De orden 1, 2017.	92
Gráfico 3.11 - ANALISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Exportación de Soya de orden 1, 2017.....	93
Gráfico 3.12 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Proyección Precio del Grano de Soya, 2023	93
Gráfico 3.13 - FUNCIÓN DE DEMANDA: Sectores demandantes de Productos oleaginosos, 2012.....	94
Gráfico 3.14 - ANALISIS DE PRECIOS: Modelación ARMAX, 2012.	95
Gráfico 4.1 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Respuesta de Sistema de Orden cero.	104

Gráfico 4.2 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Respuesta de Sistema de Primer Orden.
..... 104

Gráfico 4.3 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Respuesta de Sistema de Segundo Orden..... 105

Gráfico 4.4 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Caso Sub-Amortiguado ($0 < \zeta < 1$),
..... 106

Gráfico 4.5 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Caso Críticamente Amortiguado ($\zeta = 1$) 107



INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 - INDICADORES ECONOMICOS: Identificación de Sectores de malla de Producción, 1963.....	25
Cuadro 1.2 - BOLIVIA: Clasificación de sectores, 2012	27
Cuadro 2.1 - Bolivia: Producto Interno Bruto, según Actividad Económica, 2017-2018.	38
Cuadro 2.2 - Bolivia: Producto Interno Bruto, según tipo de Gasto, 2017-2018.....	42
Cuadro 2.3 - BOLIVIA: PIB Real vs PIB Nominal, 1988-2018	43
Cuadro 2.4 - BOLIVIA: Estratificación de trabajadores según tamaño de cultivo, 2011-2018	58
Cuadro 3.1 - CORRELOGRAMA: Análisis Precio de Exportación Grano de Soya (1980-2018)	80
Cuadro 3.2 - PRUEBA DE RAIZ UNITARIA: Precio de Exportación Grano de Soya (1980-2018).....	82
Cuadro 3.3 - HETEROCEDASTICIDAD: Precio de Exportación Grano de Soya (1980-2018)	83
Cuadro 3.4 - PRUEBA DE RAIZ UNITARIA: Modelación ARMAX, 2012.....	95
Cuadro 4.1 - BOLIVIA: Cálculo de Efectos Directos e Indirectos, 2012.....	115
Cuadro 5.1 - Redes Neuronales: Clasificación de Redes Neuronales.....	135
Cuadro 5.2 – Gravel Bolivia S.A.: Estados financieros auditados, 2016 - 2018	143
Cuadro 5.3 - Redes Neuronales: Estimación de Resultados	144

1 CAPÍTULO - INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas reales contienen componentes que, al momento de ser representados por modelos matemáticos, generan un grado de complejidad por dos principales motivos: el primero por la conexión entre sus componentes, pueden ser modelos no lineales e incluso complejos, y por lo tanto difícil de ser interpretados y la segunda por la complejidad de su resolución, de manera que la derivación de la ecuación global del sistema interconectado puede en sí ser un problema difícil.

La economía es un claro ejemplo de un sistema complejo y dinámico, involucra a varios actores: gobierno, industrias manufactureras y servicios, entre otras. El gobierno controla una economía a través de leyes e impuestos, y personas canalizan su ahorro a la inversión y/o gasto. Ya se realizaron numerosas teorías que tratan de explicar el sistema tanto a nivel macroeconómico como microeconómico, pero esta modelización es difícil de representarla porque está fuertemente influenciada por los comportamientos de diferentes actores, por tal motivo que será el centro de investigación.

Keynes desarrollo un modelo simple para entender las relaciones entre el producto interno bruto, inversión, consumo y gastos de gobierno, una de las principales observaciones que realizo fue que a un aumento en la inversión en los gastos de gobierno puede lograr un incremento en el producto interno bruto.

En los siguientes capítulos recurriremos a técnicas esenciales de modelación por funciones de transferencia, que sirven como prerrequisito para el análisis de sistemas lineales¹ usando transformada de Laplace. En primero lugar, está en comprender un sistema lineal, en tiempo discreto e invariante en tiempo, que tiene una entrada y una salida, se desarrollan reglas que rigen la derivación de la función de transferencia de sistemas

¹ Un sistema lineal debe cumplir el principio de superposición, que engloba propiedades de: proporcionalidad y aditiva y simultáneamente que el sistema sea *invariante* con el tiempo, es decir comportamiento y características fijas.

interconectados y se presenta el uso de teorías de gráficas dirigidas para obtener la función de transferencia de cualquier sistema complejo interconectado.

Por lo cual el propósito de la presente investigación es representar modelos económicos interrelacionados entre sí, con el objetivo de cuantificar el impacto de sus decisiones, a nivel macroeconómico y posteriormente microeconómico. Con modelos de esta índole las empresas podrán medir a profundidad políticas macroeconómicas directa e indirectamente, así como la respuesta probable ante factores externos, todo integrado bajo un modelo inteligente. Una herramienta que va a ayudar a entender estos sistemas dinámicos y sus mecanismos de transmisión son los algoritmos genéricos conocidos también como redes neuronales artificiales. Con el incentivo de buscar un método nuevo requiere la modelización y estimación numérica de variables lleva a la investigación sobre inteligencia artificial que permiten resolver problemas reales y complejos.

Las características de las redes neuronales las hacen muy apropiadas para aplicaciones en las que no se dispone a priori de un modelo identificable que pueda ser programado. A la vez son altamente robustas tanto al ruido como a la disfunción de elementos concretos, es decir que son tolerantes a fallos, pero además de eso tienen varias ventajas para poder estimar correctamente.

1.2 ANTECEDENTES

La presente investigación se basa en los aspectos esenciales desarrollados en Ingeniería de Sistemas, econometría e inteligencia artificial específicamente en estudios de redes neuronales.

Se realizaron varios estudios en la interpretación del estudio de señales y sistemas desarrollaron técnicas básicas de análisis de señales y sistemas, usando métodos de transformación Z y las de LaPlace. Ingeniería de Sistemas (Mahalanabis, Introducción a la Ingeniería de Sistemas, 1987)² subrayaron la importancia de conocer con exactitud las

² (Mahalanabis, 1987) - Introducción de Ingeniería de Sistemas, que se enfoca en la modelación de sistemas y abarca problemas especiales de modelación de sistemas lineales complejos y no lineales.

variables al que está expuesto el sistema al tratar de “diseñar diversos problemas de ingeniería y las funciones específicas de modelación, optimización y simulación de sistemas”.

Los sistemas de controles discretos, imprescindibles en el mundo industrial, desarrollaron modelos teóricos con conocimientos previos en ingeniería de sistemas, analizando la *estabilidad de un sistema discreto*, donde aparece el concepto de retroalimentación, bucle que controla las señales de acuerdo a ciertos parámetros (polos y zeros) que perfecciona la salida del sistema. Se hicieron varias investigaciones sobre este tema, podemos mencionar a una investigación donde proporcionan una variedad de situaciones y resoluciones de sistemas discretos, véase (Reinoso, 2004).

La econometría, en su fin de encontrar pronósticos aproximados minimizando el error, desarrollaron dos modelos bastante populares en las investigaciones de series de tiempo, ARIMA y ARMAX, plantearon diferentes desafíos para poder predecir comportamientos y medir impactos, y es aquí donde surgen los estudios de: estacionalidad, autocorrelación, regresión, fenómeno de caminata aleatoria y pronósticos, que en el capítulo II se lo estudiara con más detalle, uno de sus principales logros es que con la Metodología de Box-Jenkins³, es posible identificar y estimar un modelo estadístico que en esencia hace que la serie de datos sea *invariante en el tiempo*, por lo cual se obtiene un serie estacionaria, después de una o más diferenciaciones, este procedimiento permite conocer los valores (p,d,q) de un modelo ARIMA y/o ARMAX. A diferencia de los modelos de regresión, en los modelos de series de tiempo una variable explica valores en el pasado e incluso por sí misma, lo que nos enfoca en *modelos ateóricos*⁴.

La publicación de George Box y Gwilym Jenkins fue publicado en la década de los 70's propusieron una metodología para identificar y estimar modelos estadísticos que puede ser interpretado como generador de la información de la muestra. En este sentido, si el

³ Metodología de Box-Jenkins, (Gujarati, 2010)

⁴ Modelos ateóricos, no derivan de teoría económica alguna, por lo general las ecuaciones simultaneas como la ecuación del PIB, son bases de teorías económicas.

modelo estimado es usado para la predicción debe suponerse que las características de la serie son constantes en el tiempo, *invariante en el tiempo*, especialmente para los periodos futuros. Por lo tanto, la predicción se efectúa sobre una base válida considerando que el modelo es estacionario o estable.

1.3 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Para representar sistemas dinámicos, se debe implementar nuevos métodos que son un bien escaso para muchas empresas (productivas, financieras u otras), por lo que genera la necesidad de realizar nuevas investigaciones científicas sobre su diseño, con el objetivo de ser una herramienta eficaz en la toma de decisiones.

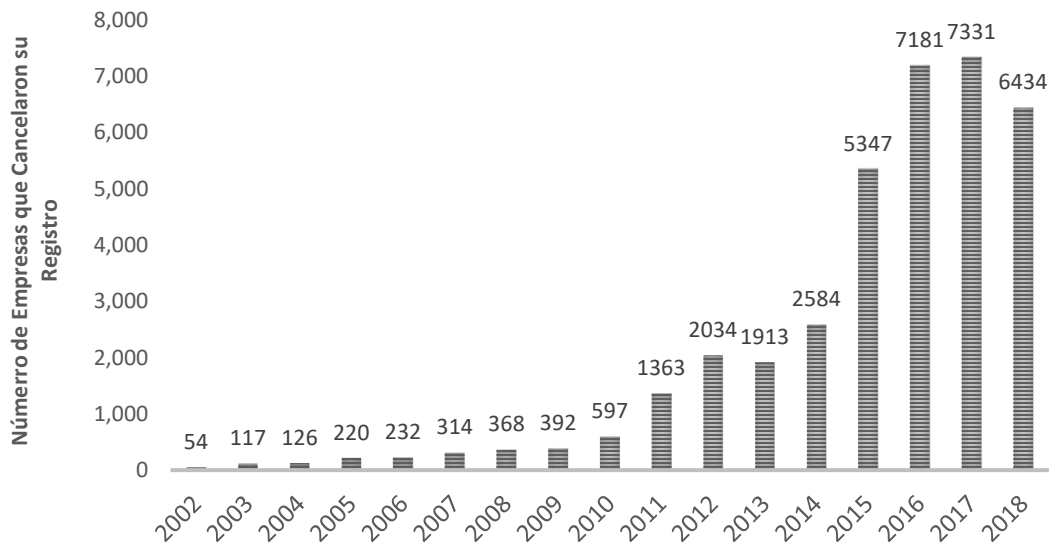
Un sistema dinámico, cuyo comportamiento cambia a través del tiempo, ofrece una respuesta por un impulso externo, causado por otro sistema (o más de dos), que para entenderlo y modelarlo introducimos el término control, es un algoritmo de retroalimentación, el cual mide las magnitudes de sus salidas y las ajusta de acuerdo a un comportamiento histórico. Podemos mencionar varios ejemplos de su aplicación como: Industria Química, Logística, Redes Computacionales, Economía, entre otras, explicados a profundidad en (Karl Johan Astrom, 2009)

Pero no todos los problemas pueden ser formulados en un algoritmo, en varios casos se necesita ser más flexible y calcular de manera oportuna ante un cambio, como lo hace nuestro cerebro, que es capaz de aprender y adecuarse a la situación, y es aquí donde nace el estudio de redes neuronales. Por lo que el estudio de redes neuronales está motivado por imitar, desde un punto de vista del sistema biológico, la función del cerebro, que tenga la capacidad de aprender, por lo que se construye celdas que trabajan en paralelo, aunque el proceso de aprendizaje es abstracto, los resultados son precisos. (Kriesel, 2005).

La mayoría de las empresas nacionales, cerraron notoriamente en las últimas gestiones del año 2015 al 2018, y pueden existir varias razones por la cual puedan cerrar. De acuerdo a la información estadística proporcionada por (Fundempresa, 2018), la mayoría de las

empresas registradas son unipersonales (245.737 empresas), seguidas por sociedades de responsabilidad limitada (58.486 empresas), y sociedades anónimas (3.456 empresas), y que para la gestión cerraron 7.331 que haciendo una comparación solamente desde 3 gestiones anteriores, cerraron como el 65% de las empresas a diferencia de las inscripciones que llego a incrementar en un 13%. Esto puede deberse a varios factores como: presión tributaria, políticas económicas o la falta de elaboración estrategias empresariales.

Gráfico 1.1 - BOLIVIA: Matriculas que Cancelaron su Registro en Fundempresa, 2018.



Fuente: Elaboración con datos en base a Fundempresa.

Se necesita diseñar modelos estratégicos específicos tanto a nivel macro y micro, que puedan analizar y cuantificar el impacto de sus decisiones en un intervalo de tiempo, cualquier sea la empresa. Recordemos que para la elaboración de una estrategia que sea útil para maximizar ganancias bajo restricciones de riesgo, capacidad, presupuesto entre otras, están interesados en conocer las tendencias y comportamiento de diferentes actores, directa e indirectamente, que puedan afectar sus decisiones.

1.3.2 ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DEL PROBLEMA

Las empresas en la actualidad desarrollan sus actividades en entornos cada vez más globales y competitivos, donde la competencia es más intensa. Lo que implica, una mejora continua en sus *sistemas de control*. Los costos de fabricación, investigación y desarrollo, logística y comercialización aumentaron acorde a las condiciones del mercado, la vida de los productos es más corta motivo por el cual la innovación, calidad, flexibilidad, productividad son factores críticos que marcan la diferencia.

Por lo tanto, las empresas pasan por tres factores críticos: costos (fabricación, investigación y desarrollo, logística y comercialización), el ciclo del producto y finalmente aspectos de satisfacción del cliente (innovación, calidad, flexibilidad y productividad). Tras un aporte académico muy importante el *cuadro de mando integral* (Norton R. S., 2002) contribuyen a transformar la visión tradicional de empresas y complementan indicadores de medición con indicadores financieros y no financieros, y ven a una organización desde 4 perspectivas: Financiera, Cliente, Procesos Operativos Internos y Crecimiento, que ayudo a varias empresas a cumplir con su misión y visión, traduciendo a empresas rentables y con una perspectiva de crecimiento a largo plazo, pero antes de enfocarnos en las elaboración de estrategias de nuestra empresa es necesario conocer el comportamiento del sector y los riesgos a los cuales se está expuesto, para poder elaborar con un criterio más amplio las estrategias y políticas de nuestra empresa.

1.3.3 SOLUCIÓN TENTATIVA

El desarrollo de las funciones de transferencia permitirá entender a cabalidad el dinamismo que existe representar un modelo económico y sus impactos en las decisiones al momento de intentar maximizar un óptimo objetivo, lo que se pretende es que las respuestas a cualquier impulso de nuestras variables estratégicas sean evaluadas en tiempo real y precisa al momento de interactuar con las variables exógenas.

Las redes neuronales, por su lado también es otro pilar fundamental en el estudio ya que ante varias señales de cambio estas afectaran resultados y el algoritmo genérico tendrá la

capacidad de cuantificar esas tomas de decisiones, reiterando nuevamente, conociendo los efectos y riesgos que existen a un nivel macroeconómico.

1.3.4 TOMA DE DECISIONES

La precisión sobre las estimaciones es una de las características más importantes de esta metodología como también la velocidad con la que estas se pueden obtener en el análisis económico-financiero cuantitativo. Las empresas que toman decisiones estratégicas necesitan cuantificar los efectos externos adaptarse ante cualquier cambio.

Alcanzar el éxito frente a los cambios constantes en el mercado económico-financiero condujo a nuevas investigaciones no solo para predecir la dirección de cambio sino también en cuantificar la respuesta a las condiciones económicas, la incertidumbre política lleva a identificar diferentes patrones.

Si bien el desarrollo de ordenadores ha ayudado para minimizar este problema, la forma específica de conceptualizar problemas sigue desempeñando un papel importante en la rapidez con que pueden ser resultados fiables obtenidos. Velocidad se refiere tanto a hardware y software computacional.

1.4 PROBLEMÁTICA

1.4.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se traten de tomar decisiones, se necesita de modelos sofisticados que disminuyan el riesgo en sus pronósticos, lo que involucra a una investigación más precisa para poder cuantificar impactos y mejor aún si son sistemas que interactúan constantemente con otros sistemas a niveles muy complejos, razón por la cual decidimos enfocarnos en *sectores impulsores* de una economía.

Para tal fin, recurrimos al estudio de la matriz de Leontief, para poder identificar las actividades productivas que se consideran como sectores estratégicos, impulsores, clave e independientes Véase (REDIMA - Reunión de trabajo sobre Modelización, Matrices de Insumo-Producto y Armonización Fiscal, 2005). Las interrelaciones de los sectores se lo

analizan desde dos puntos de vista, oferta y demanda, en el sistema de producción ciertos sectores tienen la particularidad de utilizar una mayor cantidad de insumos lo que ocasiona que arrastra a otro dado que utiliza insumos procedentes de estas, lo que se denomina encadenamientos hacia atrás o también puede suceder cuando un sector ofrece un determinado producto por otro sector como su insumo principal y que es un estímulo para un tercer sector y así sucesivamente a este efecto se le denomina encadenamientos hacia adelante⁵.

Tanto los coeficientes tecnológicos de demanda y oferta se utilizan para calcular estadísticas de encadenamiento hacia adelante o atrás para clasificar a las actividades económicas midiendo su impacto cuyos efectos sean superiores a la media combinando ambos criterios, esta clasificación divide en: sectores clave, sectores estratégicos, sectores independientes y sectores impulsores. Dicha clasificación de acuerdo Chenery & Watanabe (REDIMA - Reunión de trabajo sobre Modelización, Matrices de Insumo-Producto y Armonización Fiscal, 2005) es el siguiente:

Cuadro 1.1 - INDICADORES ECONOMICOS: Identificación de Sectores de malla de Producción, 1963.

	$\pi_j < 1$	$\tau_j \geq 1$
$\pi_i < 1$	SECTOR ESTRATEGICO (Segundo Cuadrante)	SECTOR CLAVE (Primer Cuadrante)
$\tau_i \geq 1$	SECTOR INDEPENDIENTE (Tercer Cuadrante)	SECTOR IMPULSOR (Cuarto Cuadrante)

Fuente: Elaboración con datos en base a la metodología de CHENERY & WATANABE

Donde consiste en elaborar dos indicadores, *poder de dispersión* π que es la medida promedio de un sector respecto al otro dado por:

$$\pi_j = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}$$

⁵ La metodología de los encadenamientos es desarrollado por Rasmussen, Hirschman y Chenery & Watanabe. Véase (REDIMA - Reunión de trabajo sobre Modelización, Matrices de Insumo-Producto y Armonización Fiscal, 2005)

Y para calcular los encadenamientos hacia delante usamos el indicador de *sensibilidad de la dispersión*, dado:

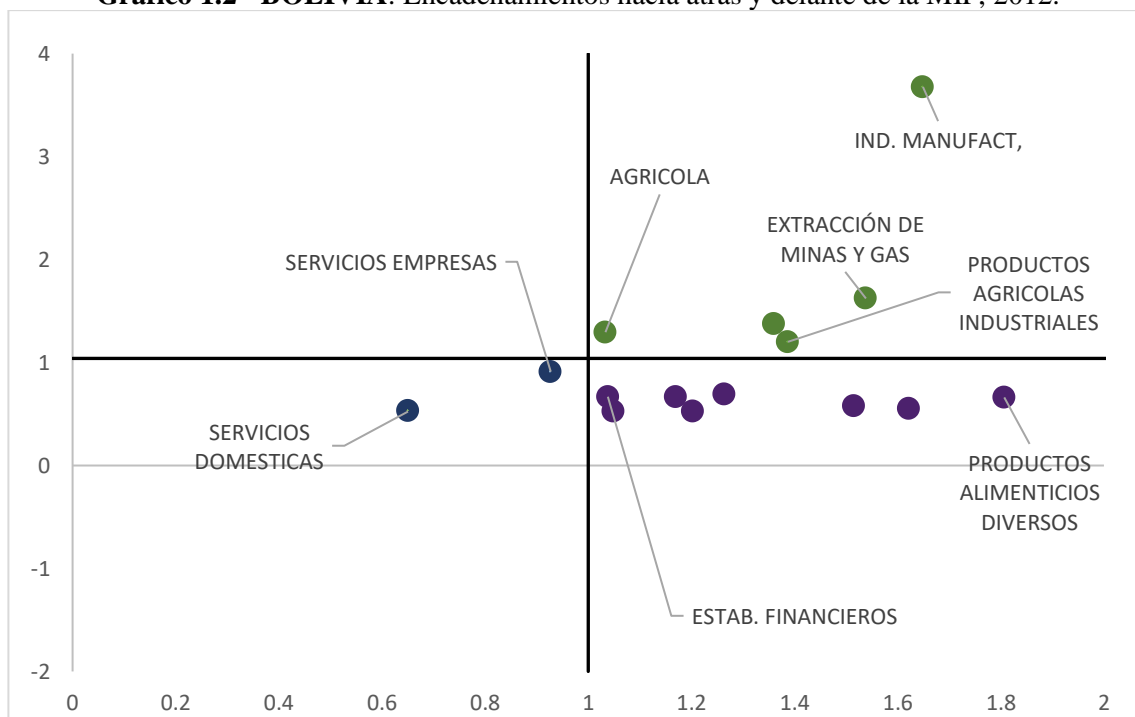
$$\tau_i = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}$$

Donde b_{ij} representa la cantidad de producción que debería realizar el sector i para satisfacer una unidad de demanda final neta de importaciones del producto j , calculada en la matriz de Leontief o de Requerimientos Totales.

Con los resultados obtenidos podemos clasificar y encontrar los sectores industriales que impactan más a la economía, utilizando los encadenamientos realizando un análisis de dispersión para ver cómo se distribuye su impacto clasificándolos en cuatro sectores: sectores estratégicos, sectores clave, sectores independientes y sectores impulsores.

La matriz insumo producto proporcionada por el INE del 2012, última publicada y detallada en (Instituto Nacional de Estadística), muestra los siguientes resultados: Bolivia cuenta con 3 sectores estratégicos, 8 sectores Clave, 12 sectores independientes y finalmente 12 sectores impulsores, representado en un cuadrante tenemos:

Gráfico 1.2 - BOLIVIA: Encadenamientos hacia atrás y delante de la MIP, 2012.



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística

A continuación, detallamos los sectores clasificados de acuerdo a los estadísticos de CHENERY & WATANABE:

Cuadro 1.2 - BOLIVIA: Clasificación de sectores, 2012

CLASIFICACIÓN	PODER DE DISPERSIÓN	COEFICIENTES DE VARIACIÓN
SECTORES ESTRATEGICOS		
PRODUCTOS AGRÍ. INDUSTRIALES	1,00	1,38
MINERALES METÁL. Y NO METÁLICOS	0,88	1,67
SERVICIOS A LAS EMPRESAS	0,75	1,30
SECTORES CLAVE		
PETRÓLEO CRUDO Y GAS NATURAL	1,29	3,12
TEXTILES, PRENDAS DE VESTIR	1,19	1,07
PAPEL Y PRODUCTOS DE PAPEL	1,10	1,20
SUBSTANCIAS Y PRODU. QUÍMICOS	1,17	2,87
REFINACIÓN DEL PETRÓLEO	1,33	1,79
PRODUCTOS BÁSICOS DE METALES	1,35	1,23
PROD. METÁLICOS, MAQ. Y EQUIPO	1,43	1,55
TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO	1,04	1,95
SECTORES INDEPENDIENTES		
PRODUCTOS AGRÍ. NO INDUSTRIALES	0,64	0,95
COCA	0,50	0,46
PRODUCTOS PECUARIOS	0,87	0,84
SILVICULTURA, CAZA Y PESCA	0,82	0,80

ELECTRICIDAD, GAS Y AGUA	0,87	0,86
COMERCIO	0,87	0,45
COMUNICACIONES	0,84	0,73
SERVICIOS FINANCIEROS	0,74	0,76
PROPIEDAD DE VIVIENDA	0,54	0,45
SERVICIOS COMUNALES, SOCIALES	0,90	0,86
SERVICIOS DOMÉSTICOS	0,45	0,45
SERVICIOS DE LA ADM. PÚBLICA	0,75	0,45
SECTORES IMPULSORES		
CARNES FRESCAS Y ELABORADAS	1,15	0,63
PRODUCTOS LÁCTEOS	1,02	0,50
PRODUCTOS DE MOLINERÍA	1,29	0,70
AZÚCAR Y CONFITERÍA	1,35	0,56
PRODUCTOS ALIMENTICIOS DIVERSOS	1,30	0,78
BEBIDAS	1,13	0,77
TABACO ELABORADO	1,14	0,96
MADERA Y PRODUCTOS DE MADERA	1,26	0,83
PROD. MINERALES NO METÁLICOS	1,06	0,94
PRODUCTOS MANU. DIVERSOS	1,35	0,59
CONSTRUCCIÓN	1,13	0,50
RESTAURANTES Y HOTELES	1,05	0,56

Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

Los *productos agrícolas industriales* se consideran un sector estratégico, por que poseen demanda final, pero abastece una cantidad significativa de insumos a otros sectores, lo que puede constituir posibles *cuellos de botella* frente a elevadas fluctuaciones de demanda.⁶

En cambio, los *productos alimenticios diversos* se consideran un sector impulsor o de fuerte arrastre, impulsores de la economía porque son demandados como insumo de otros sectores y tienen demanda final.

Razón principal por que el sector oleaginoso, es un *sector estratégico* por la producción de grano de soya (clasificado en Productos Agrícolas No Industriales), y sus derivados productos como: harina y aceite de soya (clasificado en Productos Alimenticios Diversos), son productos que conforman el *sector impulsador* de la economía.

⁶ Es importante señalar que en nuestra economía el sector de petróleo crudo y gas natural considerado como sector clave, tienen una alta capacidad de producción y una demanda también alta, son sectores de paso obligado en los flujos intersectoriales.

La producción de harina y/o aceite de soya dentro de un complejo oleaginoso es un sector impulsador, por su participación importante en la economía nacional⁷ y además que su producción esta interrelacionado con otros sectores que utilizan la producción del mismo como su principal insumo, razón por la cual será nuestra base de estudio.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar redes neuronales y un sistema de control para cuantificar los impactos de decisiones económicas-financieras.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar un modelo matemático que cuantifique las decisiones del sector estratégico para medir su impacto a los diferentes actores relacionados.
- Diseñar modelos ARIMA y ARMAX para obtener ecuaciones lineales e invariantes en el tiempo.
- Programar la matriz insumo producto para inferir las variaciones en volumen del sector de soya.
- Modelar la cadena productiva de los derivados de la soya para cuantificar su valor agregado.

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1 JUSTIFICACIÓN ACADEMICA

Desarrollar nuevos modelos predictivos es un bien escaso para muchas industrias, por lo que genera la necesidad de realizar nuevas investigaciones sobre estimaciones, siendo una herramienta poderosa en la toma de decisiones. Con buenos diagnósticos y pronósticos las empresas pueden evaluar los efectos de los cambios en sus decisiones, así como la respuesta probable de sus factores externos.

⁷ El valor de su producción representa actualmente el 90% del complejo oleaginoso.

Estas decisiones se toman bajo la premisa de que los datos extraídos hagan referencia a patrones y que proporcionan una indicación de futuros movimientos. Si existen tales, entonces es posible aplicar técnicas de reconocimiento de patrones automatizado, como los nervios/redes para su resolución.

1.6.2 JUSTIFICACIÓN ECONOMICA-SOCIAL

En las últimas dos décadas han sido testigos de extrema inestabilidad macroeconómica. Por lo tanto, analistas financieros económicos y estrategas no pueden dejar de estar interesados en analizar nuevos métodos para cuantificar impactos, sea para el sector de la producción como para la gestión del crecimiento económico.

1.6.3 JUSTIFICACIÓN METODOLOGICA

Se llevará a cabo una investigación descriptiva, se deberá caracterizar por un fenómeno de arbitrariedad sobre la cantidad de información manejada. El método utilizado en la investigación es el experimental dentro de los métodos empíricos resulta el más complejo y eficaz; este surge como resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano.

El diseño que se utilizará será el causal comparativo, pretender descubrir cómo es un fenómeno se quiere saber de qué manera y por qué ocurre, entonces se comparan semejanzas y diferencias que existen entre fenómenos, para descubrir los factores o condiciones que parecen acompañar o contribuir a la aparición de ciertos hechos y situaciones.

1.6.4 JUSTIFICACIÓN LEGAL

El análisis ante una resolución administrativa, ley o un decreto supremo debe contemplar sus consecuencias, actualmente el gobierno de Bolivia intento varios mecanismos de complementación económica y política, algunos de ellos como la programación industrial conjunta o medidas de armonización de políticas, tuvieron escaso éxito o simplemente acabaron en fracaso como los Acuerdos de Cartagena, Decreto Supremo de Bandas de

precios de exportación o Decreto Supremo referente al Certificado de Abastecimiento Interno y Precio Justo.

El Programa de Liberación Arancelaria, con sus componentes de márgenes de preferencia y arancel externo común, representaron para Bolivia, la oportunidad para abrir mercado, con ciertas ventajas entre los países miembros; particularmente ello permitió el ingreso de los productos oleaginosos, lo cual contribuyó al desarrollo productivo al cual se hace referencia a lo largo de este documento. La presencia boliviana en las negociaciones internacionales especialmente en torno a las preferencias estuvo dominada por empresariado vinculado al sector agroexportador cruceño, representando estas preferencias uno de los pilares (débiles) de la economía cruceña.

La presente investigación analizará sus consecuencias y establecer parámetros de medición que puedan ofrecer una herramienta de equilibrio entre ambas partes.

1.7 HIPOTESIS

El modelo de redes neuronales puede evaluar los impactos económicos que involucra a varios actores y variables.

1.7.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS

Los modelos de previsión es un bien escaso para cualquier tipo de empresas, determinar la efectividad de diferentes técnicas numéricas en el entrenamiento de una red neuronal para capturar información útil.

1.7.2 ESTRUCTURA DE LA HIPOTESIS

Se llevará a cabo una investigación descriptiva, se deberá caracterizar un fenómeno de arbitrariedad sobre los datos analizados para poder describir su comportamiento.

El método utilizado en la investigación es el experimental dentro de los métodos empíricos resulta el más complejo y eficaz; este surge como resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano.

El diseño que se utilizará será el causal comparativo, pretender descubrir cómo es un fenómeno se quiere saber de qué manera y por qué ocurre, entonces se comparan semejanzas y diferencias que existen entre fenómenos, para descubrir los factores o condiciones que parecen acompañar o contribuir a la aparición de ciertos hechos y situaciones.



2 CAPÍTULO - ANÁLISIS MACROECONÓMICO DE LA ECONOMÍA DE BOLIVIA Y SU INCIDENCIA EN EL SECTOR EMPRESARIAL

2.1 INTRODUCCIÓN

Para interpretar el funcionamiento del sistema económico boliviano, el primer paso necesario es el de describirlo a partir de un método científico. La aplicación de ese método conduce a la construcción de los modelos o sistemas de descripción, que tienen el objetivo de representar la realidad histórica (que para la presente investigación se tomó como referencia desde 1988) y por otra parte estar orientados por un conjunto de hipótesis teóricas básicas.

El modelo descriptivo nace a partir estas dos características, las hipótesis básicas y representación matemática de la realidad en estudio (Leon & Marconi, 1990), bajo esos escenarios es importante identificar las políticas y objetivos de cada gestión del gobierno, por ejemplo Bolivia a partir de 2006 es un país con ideologías socialistas, muy diferente al gobierno predecesor que fue nacionalista a cargo de MNR (Movimiento Nacionalista Revolucionario) que el 2003 debido a levantamientos sociales entran en un proceso de renovación interna a nivel nacional.

El sistema de cuentas de nacionales (SCN), implementado por el Instituto Nacional de Estadística “...es universal, y define la metodología internacional estándar para la compilación de las Cuentas Nacionales. Su adecuada implementación es fundamental para la comparabilidad del PIB entre los países...” de acuerdo a lo publicado en (INE, 2018).

SCN es un modelo descriptivo cuantitativo de un sistema económico, entre las primeras características está en ofrecer un conjunto de técnicas y métodos contables para elaborar un barómetro económico y de observar las principales interrelaciones macroeconómicas. Tienen como finalidad principal ser un instrumento útil para el análisis de las políticas y previsión económica. Pone en evidencia funciones económicas de la concepción de la teoría keynesiana.

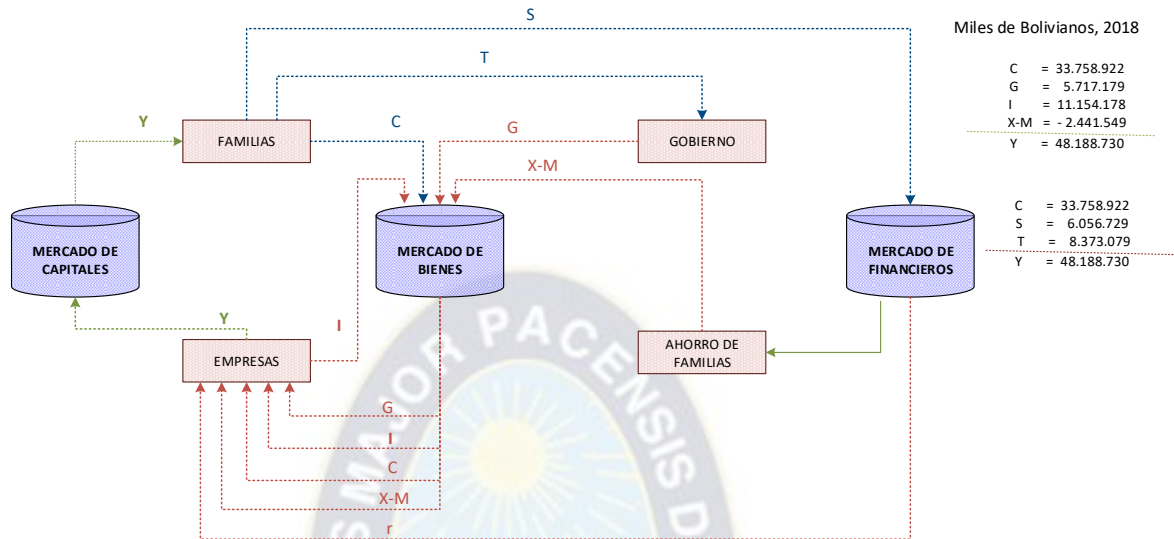
En la presente investigación veremos lo necesario que es para las empresas privadas (de cualquier sector), lo importante de analizar los pronósticos del Producto Interno Bruto PIB para evaluar la situación económica en lo cual es base para la toma de decisiones, para conocer efectivamente el crecimiento *real* que Bolivia tuvo desde 1988 al 2018, eliminaremos los efectos de la inflación.

Como lo mencionamos anteriormente la metodología empleada por el INE nace a partir de teorías keynesianas. El modelo keynesiano, asume que dado los niveles de producción y empleo en una economía se centran que los mercados funcionan bien de modo que el desempleo es involuntario, el resultado se conoce como la “*economía en pleno empleo*”, si en caso declina el origen está a una demanda agregada insuficiente, poco consumo en bienes y servicios, a corto plazo se debe tomar medidas correctivas para mantener a una economía en *pleno empleo* que cae en la responsabilidad del Gobierno que según Keynes es el único actor en la economía de controlar la demanda agregada a través de sus políticas fiscales y monetarias.

2.2 PRODUCTO INTERNO BRUTO

El valor de mercados de bienes y servicios finales producidos en una gestión dentro de Bolivia, es el significado del Producto Interno Bruto, y es importante mostrar cómo se comporta y los actores que intervienen en él, por tal motivo representamos al siguiente modelo para que puedan ver el flujo de bienes y servicios, capitales y financieros que intervienen en nuestro sistema a analizar con corte a 2018.

Figura 2.1-Bolivia: Flujo Circular del Gasto e Ingreso, 2018



Fuente: Elaboración con datos en base a flujo circular de dinero (Parkin, 2009)

En el flujo circular del ingreso y gasto, las familias realizan gastos de consumo C y las empresas hacen gastos de inversión, los gobiernos compran bienes y servicios G y el resto del mundo adquiere exportaciones netas (X-M) flujos rojos, las familias adquieren Y ingresos de las empresas flujo azul.

El ingreso agregado equivale al gasto agregado los flujos rojos. Las familias usan su ingreso para consumir C, ahorra S y pagar impuestos T. Las empresas adquieren préstamos para financiar sus gastos de inversión, los gobiernos y el resto del mundo se endeudan para financiar su déficit o prestan su superávit expresado en los flujos verdes.

De dicho esquema, el SCN da algunos tipos de representación similares al representado anteriormente, de las cuales se resaltan las siguientes ecuaciones con corte a la gestión 2018.

Cuenta de Producción

$$Y = C + G + I + XN$$

$$Y = 33.758,92 + 5.717,18 + 11.154,18 - 2.441,55$$

$$Y = 48.188,73 \text{ (Millones de Bs)}$$

Cuenta de Consumo

$$Y = C + S + T$$

$$Y = 33.758,92 + 6.056,73 + 8.373,08$$

$$Y = 48.188,73 \text{ (Millones de Bs)}$$

Cuenta del Resto del Mundo

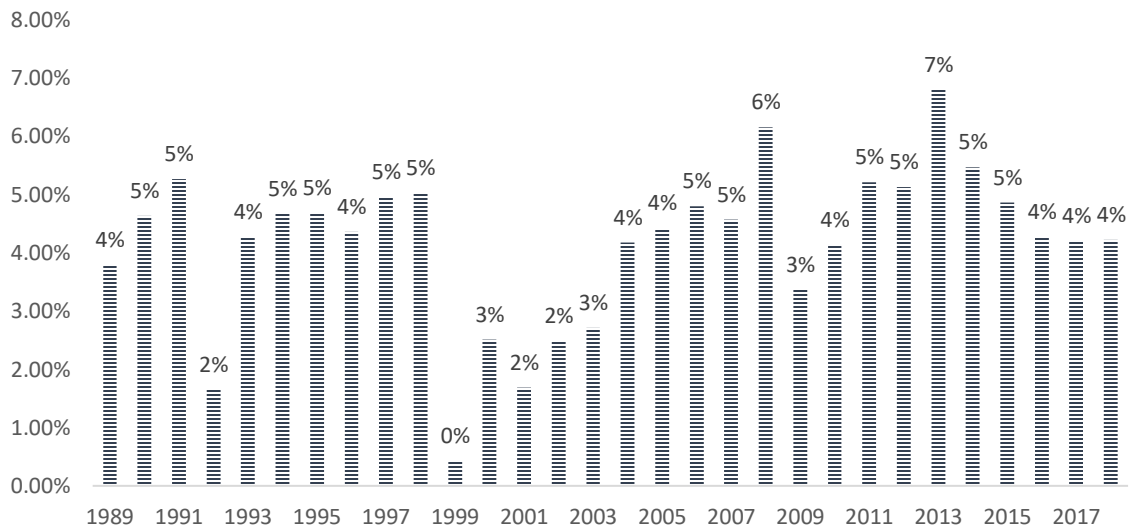
$$XN = X - M$$

$$XN = 12.427,22 - 14.868,76$$

$$XN = -2.441,55 \text{ (Millones de Bs)}$$

No podemos estudiar la macroeconomía sin analizar las fluctuaciones y crecimiento de la economía, que se basan en teorías que tienden a ser coherentes con el comportamiento de las familias y empresas. Analizaremos la conducta de la economía en Bolivia en los lapsos de 1988 al 2018, lo cual las últimas gestiones registraron un crecimiento constante alrededor del 4.21%.

Gráfico 2.1 -BOLIVIA: Tasa de Crecimiento del PIB a precios corrientes, 1980-2018



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

Existe una equivalencia para medir el crecimiento económico, como lo vimos en el flujo circular del dinero, hay una relación directa entre valor agregado, ingreso y tipo de gasto. Es necesario analizar las diferentes formas de calcular el PIB y de esta manera desglosar viendo sus componentes más significativas.

2.2.1 MEDICIÓN DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO

2.2.1.1 METODO DE VALOR AGREGADO

Reiteramos algo muy importante, la medición del PIB no considera la reventa de artículo o productos de periodos anteriores, eso quiere decir que solamente toma en cuenta la venta del producto final para evitar una doble contabilización.

El valor agregado de las empresas es el valor de mercado de la producción, que al descontar el valor de los insumos se obtiene el valor agregado de cada actividad económica, y la sumatoria de cada actividad da como resultado el PIB. Como se observa en el *Cuadro 2.1 - Bolivia: Producto Interno Bruto, según Actividad Económica, 2017-2018*. vemos que las actividades con mayor participación en las dos últimas gestiones (2017 y 2018) son Industrias Manufactureras, Establecimientos Financieros y la Agricultura, el 16.54%, 12.68% y 12.44% respectivamente.

El sector de Industrias Manufactureras comprende de acuerdo a las Cuentas Nacionales de Bolivia a las siguientes actividades:

- a. Tabaco Elaborado,
- b. Textiles, Prendas de Vestir, Cuero y Productos de Cuero;
- c. Madera y Productos de Madera;
- d. Papel, Productos de Papel e Imprenta y Editoriales;
- e. Sustancias y Productos Químicos;
- f. Productos de Refinación de Petróleo,
- g. Productos de Minerales no Metálicos,
- h. Productos Básicos de Metales,
- i. Productos Metálicos, Maquinaria y Equipo

j. Productos Manufacturados Diversos

Cuadro 2.1 - Bolivia: Producto Interno Bruto, según Actividad Económica, 2017-2018.

Sector Productivo	2017		2018	
	Sector (Miles Bs)	Variación Porcentual	Sector (Miles Bs)	Variación Porcentual
Derechos s/Importaciones, IVA, IT	5,669,231.00	12.26%	5,868,774.00	12.18%
PRODUCTO INTERNO BRUTO				
Industrias Manufactureras	7,551,997.00	16.33%	7,968,581.00	16.54%
Establecimientos Financieros,	5,803,495.00	12.55%	6,110,882.00	12.68%
Agricultura, Silvicultura, Caza	5,608,049.00	12.13%	5,995,645.00	12.44%
Transporte, Almacenamiento	5,195,742.00	11.24%	5,423,980.00	11.26%
Servicios de la Adm. Pública	4,612,669.00	9.98%	4,925,583.00	10.22%
Extracción de Minas y Canteras	4,935,360.00	10.67%	4,768,653.00	9.90%
Comercio	3,551,171.00	7.68%	3,734,215.00	7.75%
Construcción	1,879,426.00	4.06%	1,945,911.00	4.04%
Servicios Comunales, Sociales,	1,706,618.00	3.69%	1,782,276.00	3.70%
Restaurantes y Hoteles	1,110,374.00	2.40%	1,160,229.00	2.41%
Electricidad Gas y Agua	976,214.00	2.11%	1,009,196.00	2.09%
Servicios Bancarios Imputados	-2,364,444.00	-5.11%	-2,505,194.00	-5.20%

Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística

El sector de Agricultura a las siguientes actividades económicas:

- a. Productos Agrícolas No Industriales
- b. Productos Agrícolas Industriales
- c. Coca
- d. Productos Pecuarios
- e. Silvicultura, Caza y Pesca

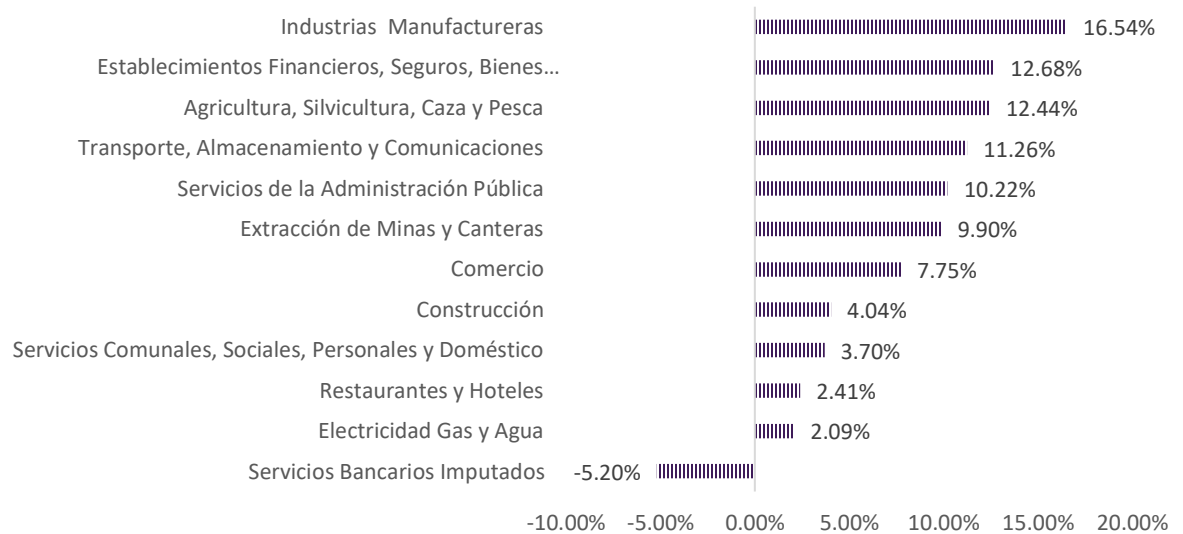
Y el sector de servicios o actividades financieras auxiliares estrechamente relacionadas con la intermediación financiera.

- a. Banco Central de Bolivia
- b. Instituciones financieras monetarias (Bancos comerciales privados y extranjeros)
- c. Otros intermediarios financieros (Cooperativas, mutuales, fondos estatales, fondos mixtos, fondos privados, empresas de servicios financieros)

d. Empresas de seguros y reaseguros.

Se muestran a continuación las actividades económicas que tuvieron mayor incidencia en el PIB,

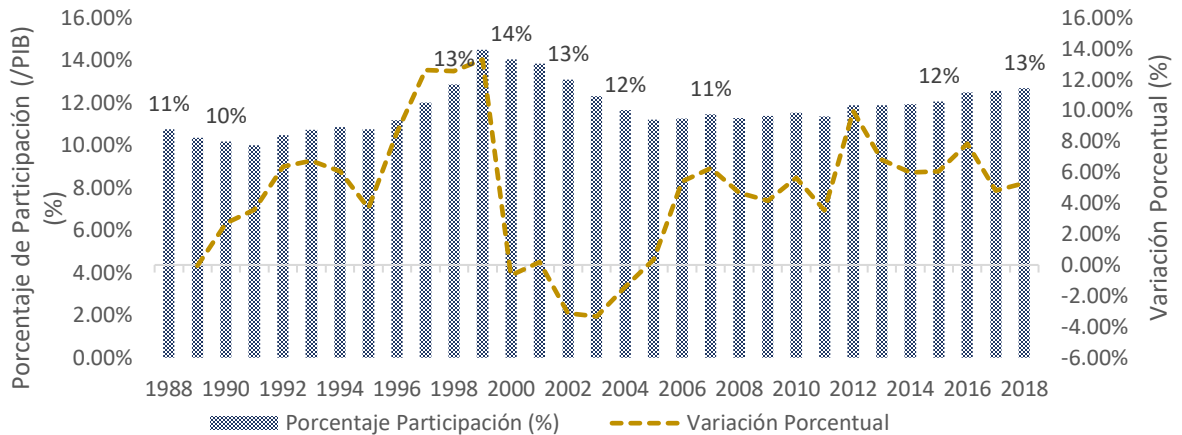
Gráfico 2.2 - Bolivia: Producto Interno Bruto, según Actividad Económica, 2017-2018.



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística

Haciendo énfasis en las tres principales actividades en lo largo de tiempo a diferencia de otros sectores tiene un comportamiento más volátil oscila desde un 16% al 17% mostrando una clara tendencia a la baja desde el 2006 y una leve recuperación en las últimas gestiones, pese a estas fluctuaciones aún sigue siendo el sector económico que más aporta al PIB

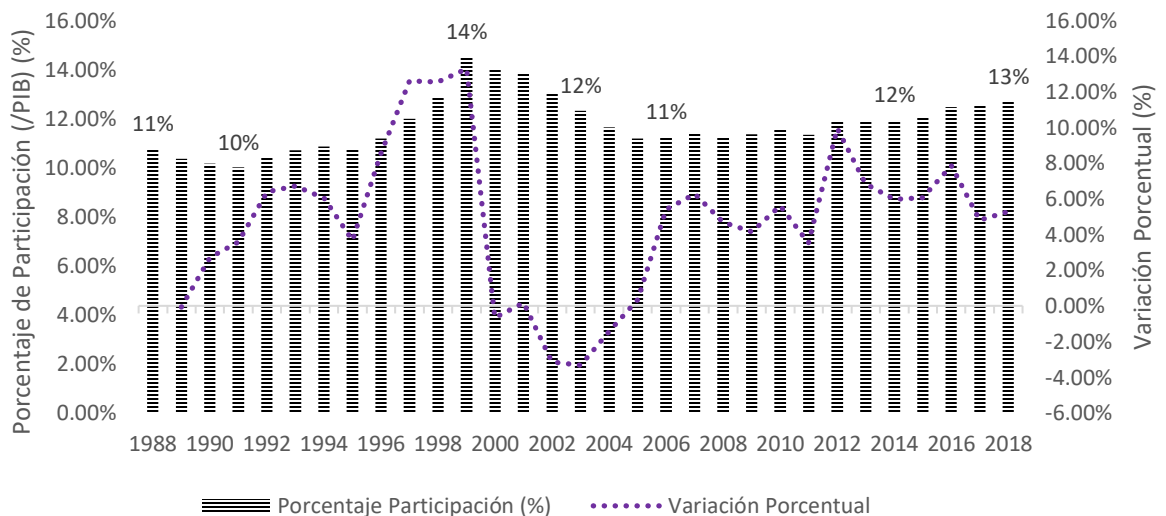
Gráfico 2.3 -BOLIVIA: Variación Porcentual del Sector de Industrias Manufactureras, 1988-2018



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

La participación del sector agropecuario fue constante, tal como se aprecia en el siguiente gráfico, desde la gestión 2006 hasta el 2018 tuvo un aporte significativo al crecimiento del país aporte alrededor 12% con pequeñas oscilaciones.

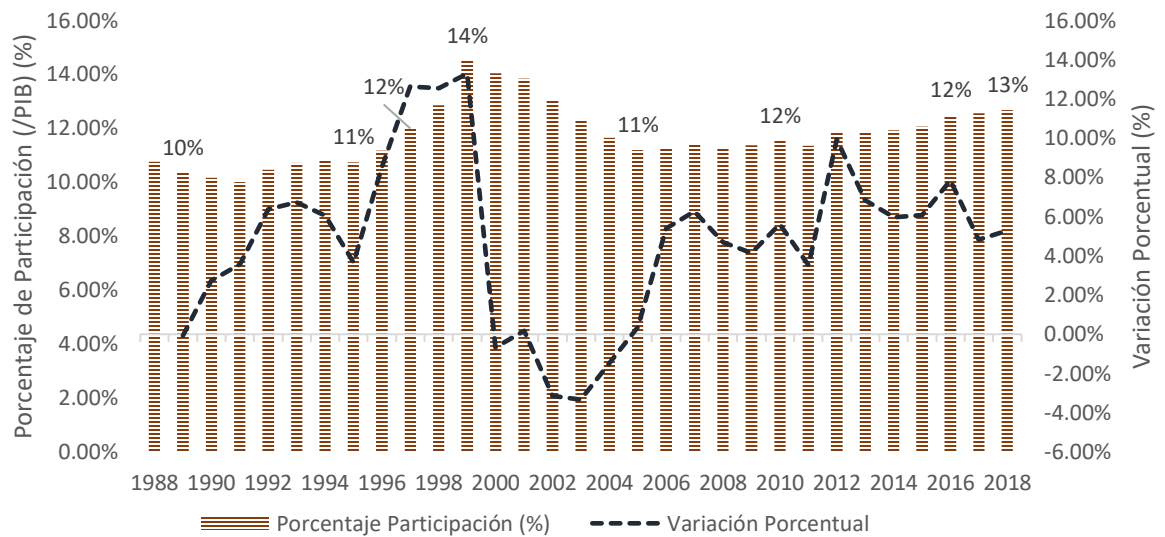
Gráfico 2.4 - BOLIVIA: Variación Porcentual del Sector de Agricultura, 1988-2018



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

El sector de Servicios Financieros registro los niveles significativos de crecimiento posicionandolo en el segundo agente economico con mas aporte al PIB. Desde la gestión 2006 registro un aporte alrededor del 12% hasta el 2016, en la gestión 2018 alcanzo el 13% pese a su peor caída de 1999 hasta el 2005.

Gráfico 2.5 - BOLIVIA: Variación Porcentual del Sector de Industrias Manufactureras, 1988-2018



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

2.2.1.2 METODO DE GASTO

La participación del PIB de las diferentes actividades en el PIB corriente, el consumo privado es el componente más importante del PIB, el gasto del gobierno le sigue alrededor del % del PIB mientras tanto que la inversión representa también un % del producto total, y finalmente las exportaciones netas tienen un saldo negativo de % del PIB.

Cuadro 2.2 - Bolivia: Producto Interno Bruto, según tipo de Gasto, 2017-2018.

Tipo de Gasto	2018	Variación Porcentual
PRODUCTO INTERNO BRUTO	48.188.730,00	4.3%
Gasto Gobierno	5,717,179.00	1.6%
Consumo	33,758,922.00	3.4%
Inversión Bruta	11,154,178.00	3.4%
Exportación Neta	-2,441,549.00	4.2%

Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística

2.2.1.3 METODO DE INGRESO

El ingreso que recibe una familia a cambio de ofrecer un servicio a una empresa que a su vez esta es remunerada a través de sueldos y salarios, pero también las familias reciben otro ingreso de capital por arrendamiento o por intereses. La suma de ambas es conocida también como el Ingreso Domestico.

2.3 INDICE DE PRECIOS

Como vimos anteriormente, realizamos un análisis con fecha del 2017-2018, lo hicimos aislando el nivel de precios, tomando como referencia los precios de 1990 a continuación mostraremos el comportamiento del Deflactor de Precios de Consumo.

$$PIB_{nominal} = PIB_{real} \cdot Nivel\ de\ Precios$$

Para la medición del PIB existe un problema, con exactitud no se puede identificar si el crecimiento provino de cambios en los precios o de la cantidad producida o incluso una variación de ambas. Para tal motivo la macroeconomía identifico a un PIB nominal y a un PIB real⁸, la primera mide el valor de mercado de bienes y servicios a precios corrientes y la segunda se mide a precios constantes.

⁸ De acuerdo a la información publicada por el INE, el PIB nominal se lo identifica como PIB a precios corrientes y el PIB real esta como PIB a precios constantes.

Cuadro 2.3 - BOLIVIA: PIB Real vs PIB Nominal, 1988-2018

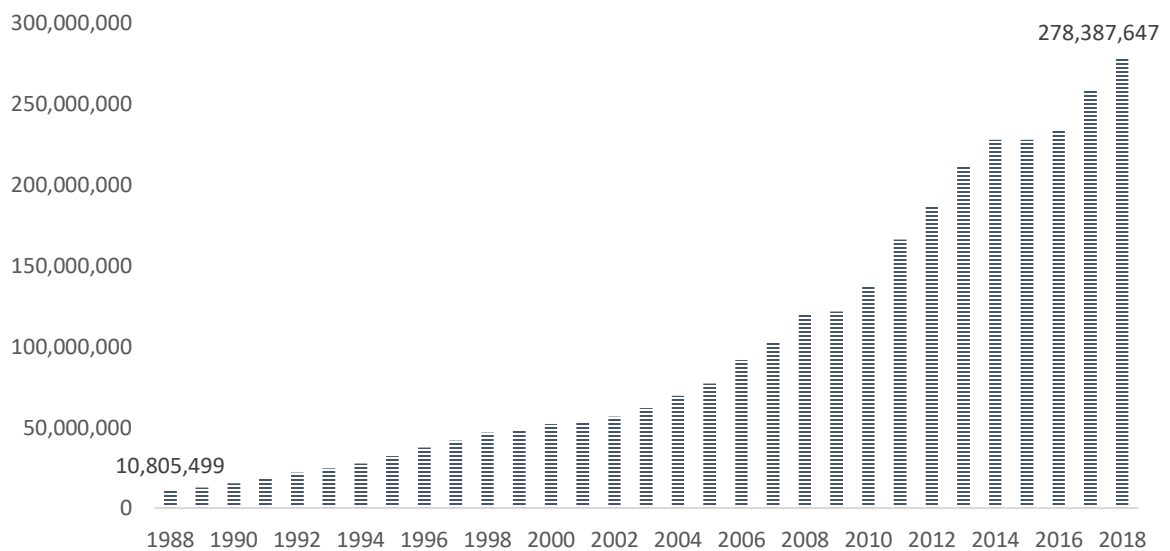
Año	PIB Real	PIB Nominal	Deflactor
1988	14,219,989	10,805,499	75.99
1989	14,758,942	12,693,906	86.01
1990	15,443,135	15,443,135	100.00
1991	16,256,453	19,132,129	117.69
1992	16,524,114	22,014,006	133.22
1993	17,229,578	24,458,969	141.96
1994	18,033,728	27,636,342	153.25
1995	18,877,396	32,235,073	170.76
1996	19,700,704	37,536,646	190.53
1997	20,676,719	41,643,866	201.40
1998	21,716,623	46,822,325	215.61
1999	21,809,328	48,156,175	220.81
2000	22,356,265	51,928,493	232.28
2001	22,732,700	53,790,327	236.62
2002	23,297,736	56,682,328	243.30
2003	23,929,416	61,904,449	258.70
2004	24,928,061	69,626,113	279.31
2005	26,030,240	77,023,817	295.90
2006	27,278,913	91,747,795	336.33
2007	28,524,026	103,009,182	361.13
2008	30,277,827	120,693,764	398.62
2009	31,294,253	121,726,746	388.97
2010	32,585,679	137,875,567	423.12
2011	34,281,468	166,231,563	484.90
2012	36,037,461	187,153,877	519.33
2013	38,486,570	211,856,031	550.47
2014	40,588,157	228,003,659	561.75

Año	PIB Real	PIB Nominal	Deflactor
2015	42,559,598	228,031,369	535.79
2016	44,374,307	234,533,182	528.53
2017	46,235,899	259,184,718	560.57
2018	48,188,730	278,387,647	577.70

Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística

Como podemos apreciar el comportamiento del Producto a precios corrientes, la gestión 2018 cerro en 278.387,64 millones de bolivianos, respecto a una gestión anterior registro un crecimiento del 7.41%.

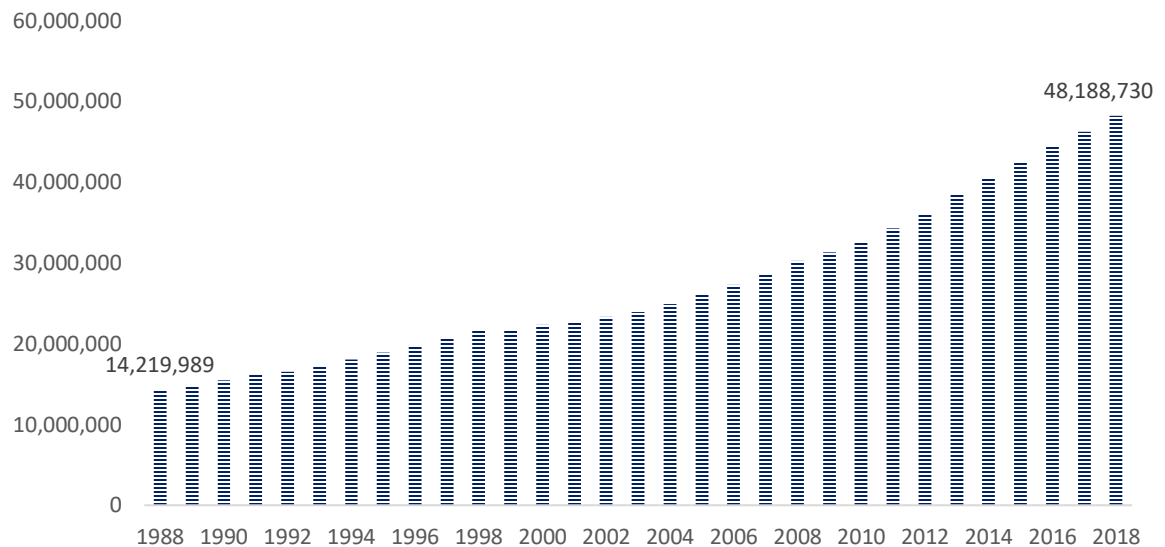
Gráfico 2.6 - Bolivia: Producto Interno Bruto a precios corrientes, 2017-2018.



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística

Aislando el crecimiento económico por los efectos de la inflación, presenta el siguiente comportamiento y se entiende como el crecimiento real en cantidad de bienes y servicios producidos en una gestión dada, al cierre del 2018 se vio un crecimiento de 48.188,73 millones de bolivianos.

Gráfico 2.7 - Bolivia: Producto Interno Bruto a precios corrientes, 2017-2018.



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística

Estudiado y analizado el comportamiento del PIB y sus componentes principales, el dinero es un factor importante en las economías modernas, no olvidemos que tiene las características más importantes que es utilizado como *medio de pago* para realizar cualquier tipo de transacciones, pero sobre todo es usado por que es un *medio legal* lo que le da la facultad de ser el activo más líquido para hacer transacciones.

Dicho esto, a continuación, analizaremos como la circulación monetaria y reservas internacionales juegan un rol muy importante en la economía moderna, lo que tampoco podríamos obviar a darlo por supuesto.

2.4 AGREGADOS MONETARIOS

Todo dinero en circulación junto con las reservas monetarias son las variables denominadas *Base Monetaria* o *Dinero de Alto Poder Expansivo*, que en los agregados monetarios va tomando una jerarquía del activo más líquido y de esta manera clasificar los activos de liquidez en Agregados Monetarios.

Actualmente en Bolivia, la entidad encargada de analizar y proporcionar la información actualizada es el Banco Central de Bolivia, quien vela por controlar la inflación y es una

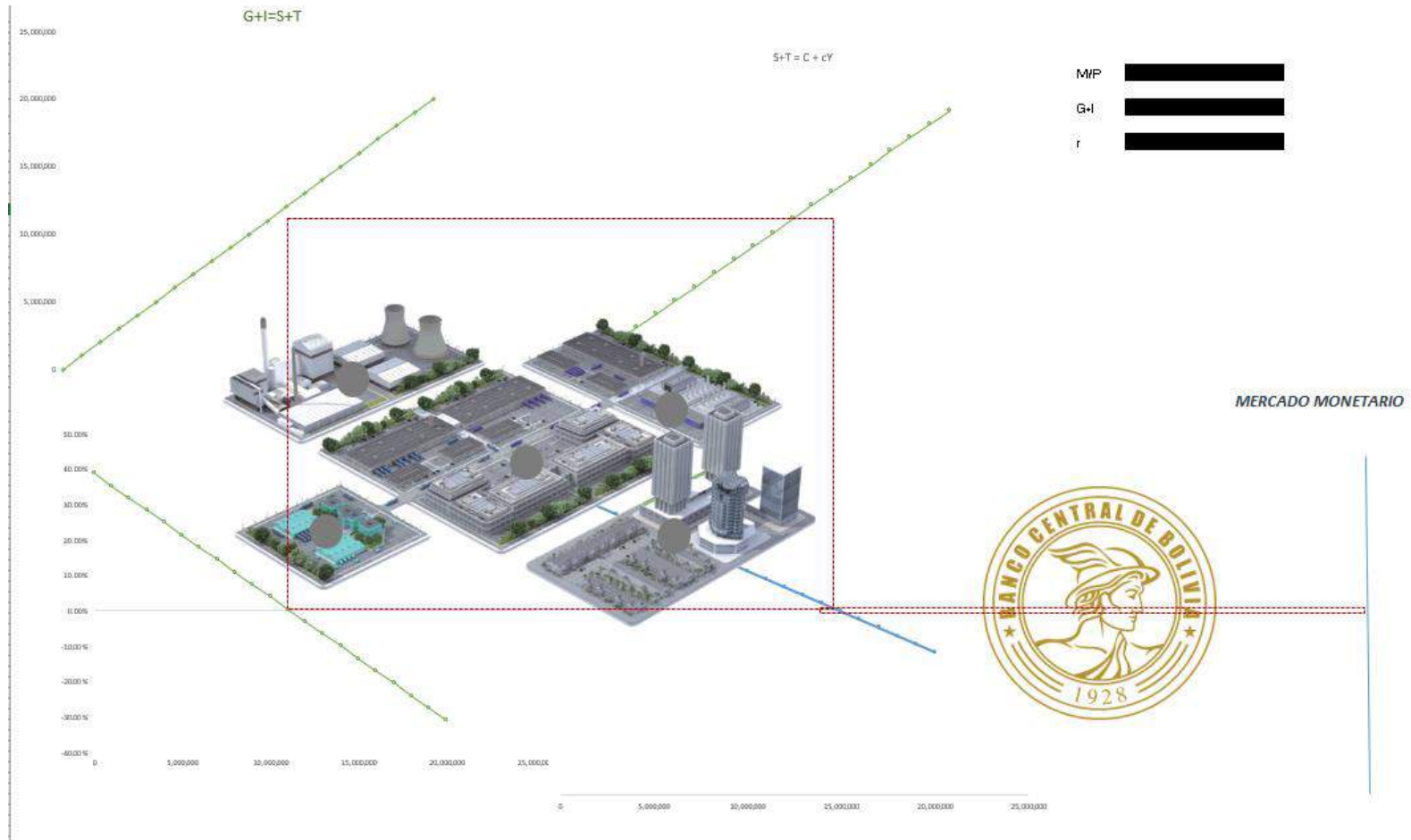
variable muy delicada la base monetaria que circula en el país, es decir que cuando la inflación es demasiado alta puede deberse a que existe una gran cantidad de circulación de activos líquidos en el mercado por lo que las personas y entidades están predispuestas a consumir más lo que aumenta los precios de los productos y por ende la inflación, en estos casos el Banco Central de Bolivia utiliza un ***política monetaria contractiva*** lo que hace es retirar del mercado el dinero a través de varios mecanismos, que del cual las Operaciones de Mercado Abierto es una de sus primeras armas ante este escenario, y el escenario contrario al mencionado se lo conoce también como ***política monetaria expansiva***, que lo veremos en los siguientes puntos.

2.5 MODELO IS-LM

Como lo mencionamos anteriormente, las cuentas nacionales están en base a teorías keynesianas, lo que nos lleva al análisis de la curva IS, que relaciona el producto y la tasa real de interés estas curvas se mueven ante cambios fiscales, es decir si el gobierno puede estimular el consumo lo hace utilizando en el mercado de bienes la reducción de impuestos, lo que ocasiona que las familias o empresas puedan consumir más, a esto se llama un ***política fiscal expansiva*** reduciendo el gasto público ya que deja de percibir ingresos tributarios. En caso de que utilice una política fiscal restrictiva, combina una reducción del gasto público y una reducción de impuestos. Estas relaciones más lo que vimos en el anterior punto sobre las políticas monetarias, conforman la curva IS-LM que relaciona el mercado de bienes (lugar físico donde se transan bienes y servicios) con el mercado de dinero (donde el Banco Central de Bolivia entra en el papel, reiterando su único objetivo que es controlar la inflación).

Para tal fin elaboramos unas estimaciones lineales simples, que se obtiene utilizando por Mínimos Cuadrados Ordinarios sus parámetros y de esta manera llegar a estimar dándonos escenarios ficticios que ayuden a interpretar el movimiento de la economía. A continuación mostramos el simulador de la relación entre ambos mercados.

Figura 2.2 - BOLIVIA: Simulador Relación de la Curva IS – LM, 1988-2018



Fuente: Elaboración con datos en base a Instituto Nacional de Estadística y UDAPE.

2.6 SECTOR OLEAGINOSO - CASO DE ESTUDIO

Como lo vimos en el punto anterior, vimos que el sector agrícola es uno de los que aporta más al crecimiento del PIB, razón por la cual analizaremos la cadena productiva de este producto de agrícolas industriales (que de acuerdo con el INE representa el 90% de la producción del complejo oleaginoso).

Los cultivos en el complejo oleaginoso en nuestra economía van aumentando a una tasa anual de crecimiento del sector del 22%. Dentro de los productos más destacados se encuentra la soya debido a sus beneficios económicos y a sus múltiples derivados. Es una leguminosa perteneciente a la familia de las papilionáceas importante en la alimentación, es el insumo principal para la producción de aceite vegetal, torta de soya, harina de soya y lecitina.

La soya en Bolivia fue cultivada por primera vez en los años setenta en las zonas tropicales del departamento de Santa Cruz, la harina de soya fue el primer producto de exportación de Bolivia en el año 2000 por un valor de 167 millones de dólares según (Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas, 2001). Según el (Instituto Boliviano de Comercio Exterior, 2017) las exportaciones del grano de soya y sus derivados forman parte importante y significativa, en la gestión de 2016 las exportaciones de la torta de soya representa el 15.49% exportados a Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) y a la Comunidad Andina se exporta torta de soya con un 48%, el aceite crudo 23% y grano de soya 2.41% es decir que los productos de soya a dicho sector representan el 72% sobre el valor de las exportaciones.

Entre los mayores productores de grano de soya a nivel mundial podemos citar a Brasil, Estados Unidos, Argentina, China y Paraguay países que en conjunto para la gestión 2018 representan aproximadamente el 80% de la producción mundial de grano de soya lo que es considerado el cultivo oleaginoso de mayor importancia.

El complejo oleaginoso tiene mayor incidencia en el crecimiento económico, los cultivos de soya en 1980 eran de 37.580 hectáreas y subieron para el 2017 a 1.900.000 hectáreas.

El crecimiento de la agroindustria en el país fue resultado de políticas nacionales específicas que originan antes de 1980 y se resumen en cinco grandes hitos⁹: El Plan Bohan, la revolución nacional de 1952, Estados Unidos y el servicio Agrícola Interamericano, el proyecto desarrollo de las tierras bajas del Este (Proyecto Lowlands) y la participación en el acuerdo de Cartagena.

Como insumo para realizar un diagnóstico del sector oleaginoso es un factor indispensable poder determinar los beneficios del sector y la sensibilidad ante el comportamiento característico de la demanda, oferta, precios y sistema de comercialización del aceite y harina de soya. Para tal fin, el estudio que a continuación se presenta cuantificará la demanda de aceite y harina de soya para luego establecer el tamaño del sector oferente, estimando los precios probables que regirían al producto. También se identificará el mercado proveedor y competidor de los que se dependería.

En los siguientes puntos se analizará la participación de la soya en la economía nacional y a nivel mundial un análisis de competitividad, seguido de un análisis a las políticas de producción e instituciones relacionadas al sector, para finalmente realizar la simulación del sector sojero para medir su impacto en la economía nacional ante cambios en las políticas de producción.

2.7 PRODUCCIÓN DEL SECTOR OLEAGINOSO

Dada la importancia que ha adquirido un tema tan representativo en el ámbito productivo del país, como es el del sector oleaginoso boliviano, a continuación daremos a conocer el aporte de la cadena productiva de la soya, como impulsor de cadena de insumos para el sector alimentario y sus exportaciones con valor agregado y empleos.

2.7.1 DIAGNÓSTICO SECTORIAL

La producción de soya representa el 90% del complejo oleaginoso¹⁰, las semillas de la soya son procesadas para obtener una gran diversidad de derivados con un alto valor

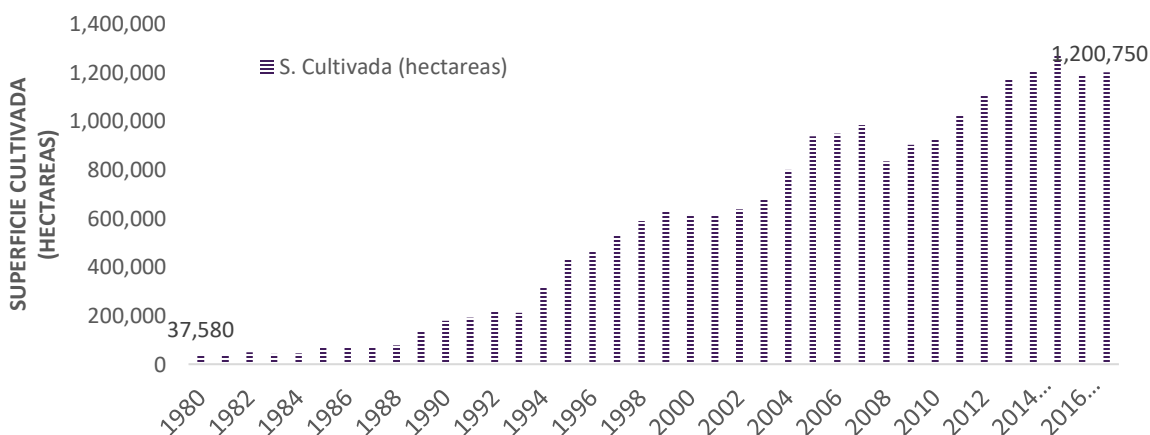
⁹ Aporte Agroalimentario para Bolivia y el Mundo. (Zeballos, 2012)

¹⁰ (Asociación Nacional de Productores Oleaginosos, 2000)

agregado, su producción se convirtió en una de las más significativas y voluminosas. El dinamismo de este sector impulso al aumento de cultivo en las zonas de integración y expansión en la ciudad de Santa Cruz, por condiciones climáticas es la principal ciudad que produce soya, podemos observar que la tasa de crecimiento¹¹ de 1980-1990 fue de 395% de 1990-2000 fue de 408% y del 2000-2010 fue tan solo del 60%.

La producción del grano de soya presenta una evidente tendencia creciente, en 1980 se cultivó 37.580 (Tm) toneladas métricas de granos de soya al año 2017 se producen 1,2 millones de toneladas métricas un aumento del 22% anual en promedio, exceptuando el 2008 que solo produjo 835 miles (Tm) que por efectos meteorológicos afecto el cultivo. A causas de este problema el gobierno el año 2009 se vio obligado de darle una solución a los productores que fueron damnificados designando al Ministerio de Planificación del Desarrollo y de Hacienda y al Ministerio de Economía y Finanzas de promover el financiamiento como fuente de cooperación según él (Decreto Supremo N°162, 2009).

Gráfico 2.8 - BOLIVIA: Superficie Cultivada de Soya, 1980-2017



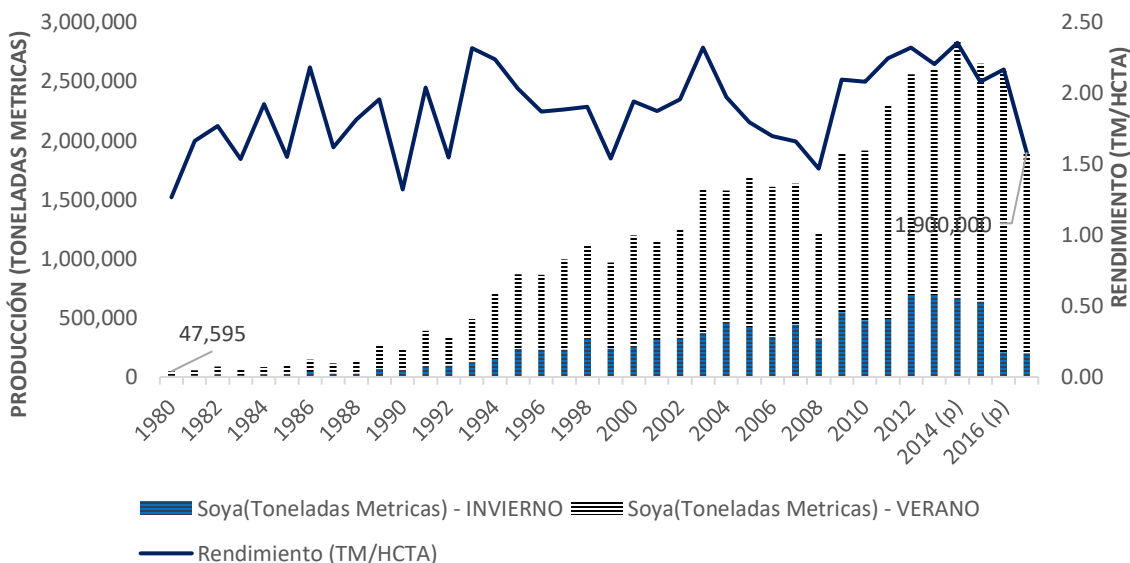
Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

Al año existen dos cultivos de verano e invierno, la campaña de verano inicia en noviembre y diciembre y termina en los meses de marzo y abril, y la campaña de invierno comienza en junio y julio y acaba en octubre y noviembre. La producción según el año

¹¹ Tasa de crecimiento = (Superficie Cultivada (Año)/Superficie Cultivada (Año Base) -1) · 100%

agrícola¹² la mayor cantidad de grano de soya se produce en verano aproximadamente el 74,43% y en invierno el 25.57%.

Gráfico 2.9 - BOLIVIA: Producción y Rendimiento del Grano de Soya, 1980-2017



Fuente: Elaboración con datos en base a Instituto Nacional de Estadística y Asociación Nacional Productores de Oleaginosos y Trigo.

Existen bastantes críticas a los cultivos convencionales y transgénicos tanto como sus beneficios y perjuicios¹³, todo apunta a que la producción de soya transgénico se utilizó para maximizar la productividad del cultivo y reducir costos de producción. El cultivo transgénico se utilizó a partir del año 2004 con una participación total del 5%, aprobado por el gobierno en (Decreto Supremo N° 28225, 2005) según el convenio sobre Diversidad Biológica no existe un impacto negativo en el cultivo de soya transgénica y que la degradación del suelo es en la misma proporción que los cultivos convencionales las pruebas realizaron en la empresa de Monsanto¹⁴ utilizando herbicidas (glifosato) que no dejan residuos en el suelo y es biodegradable.

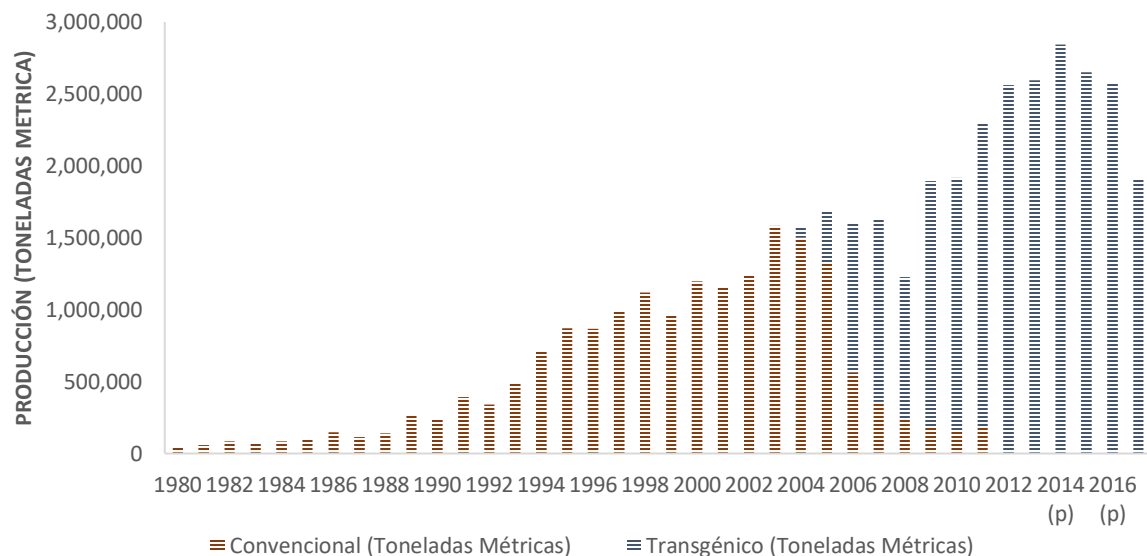
¹² Periodo continuo de 12 meses que se ha tomado con fines de programación agrícola, iniciando el 1° de junio de un año hasta el 30 de julio del siguiente año. (Instituto Nacional de Estadística, 2000)

¹³ Quienes se benefician de la producción de soya transgénica. Ver (Georgina, 2006)

¹⁴ Multinacional estadounidense productora de agroquímicos y biotecnología destinados a la agricultura. Ver (Monsanto, 2002)

El 99% de la producción de la soya es transgénica a partir del 2011, la soya convencional es prácticamente 0% a partir del 2012 hasta la fecha.

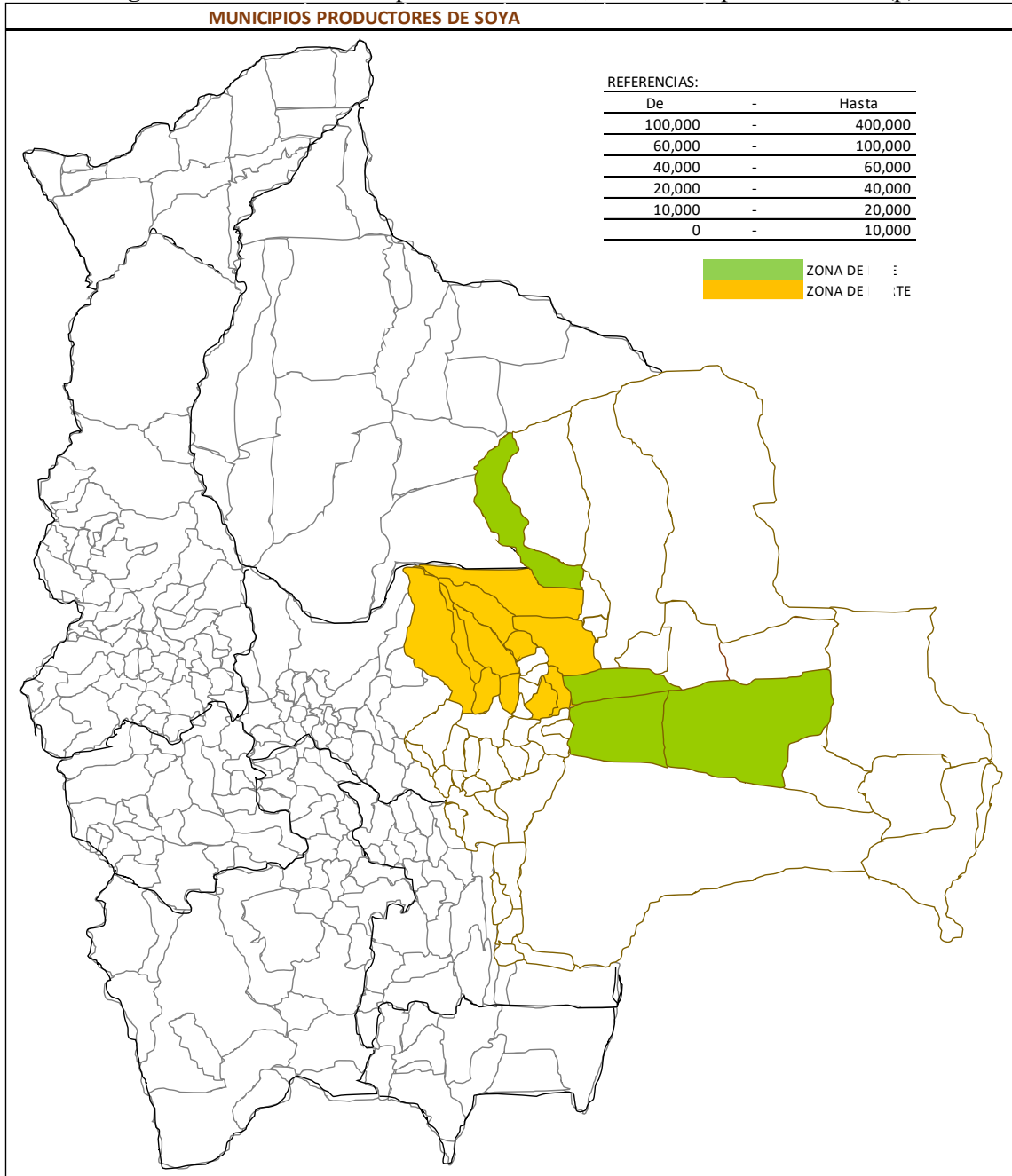
Gráfico 2.10 - BOLIVIA: Producción Grano de Soya Convencional y Transgénico, 1980-2017



Fuente: Elaboración con datos en base a Asociación Nacional Productores de Oleaginosos y Trigo.

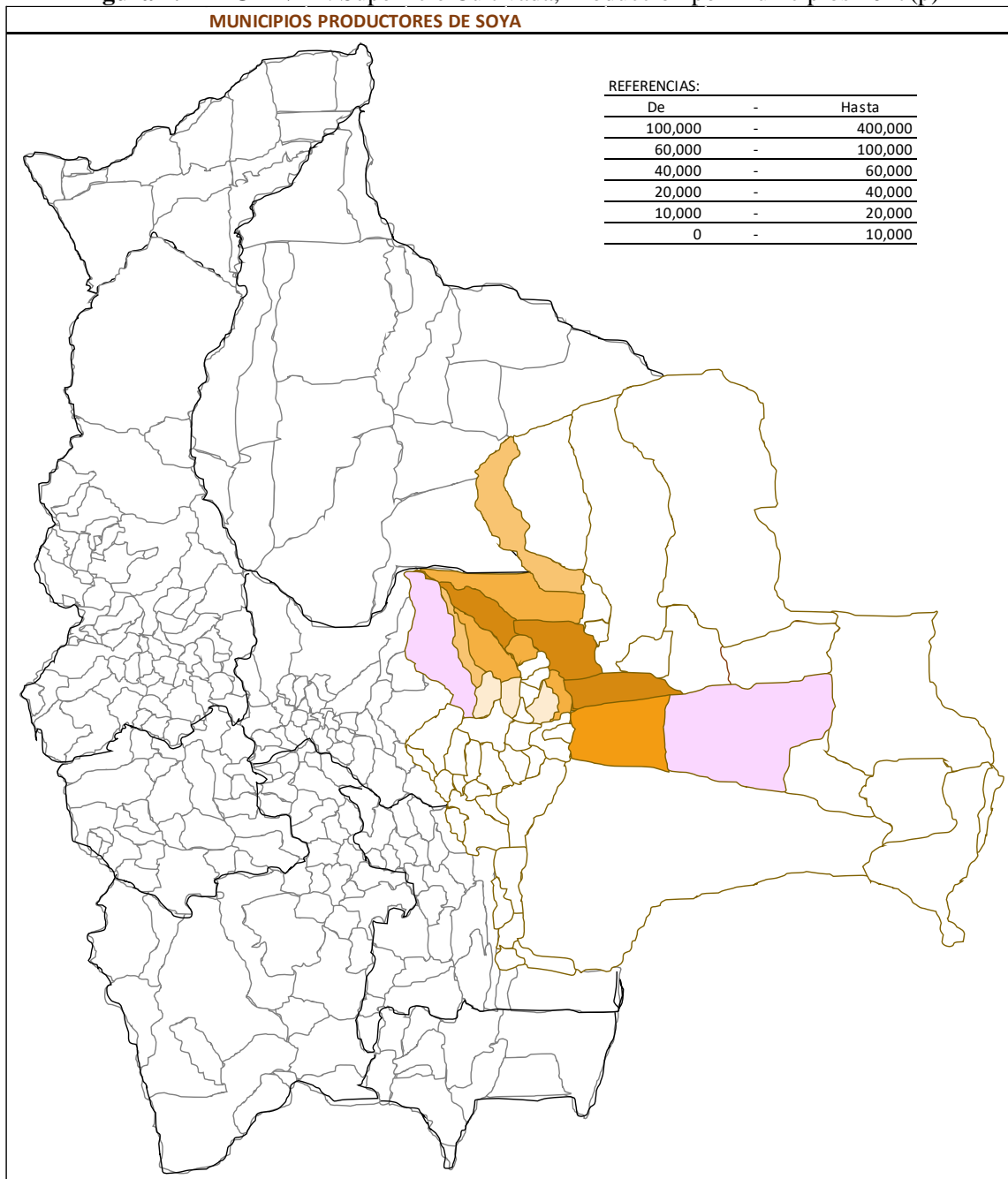
Las zonas de producción se dividen en dos: Zona de Expansión y la Zona de Integración, entre los municipios más importantes de cultivo de soya tenemos en la zona de Expansión a Cuatro Cañadas con 20.02%, Pailón con 14.65% y San Julián con 10.83% de participación, en la zona de Integración podemos citar a: San Pedro con 34.91%, El Puente con 4.03%, Fernando Alonso con el 2.42% y Yapacaní con el 1.61%.

Figura 2.3 - BOLIVIA: Superficie Cultivada, Producción por Zonas 2017(p)



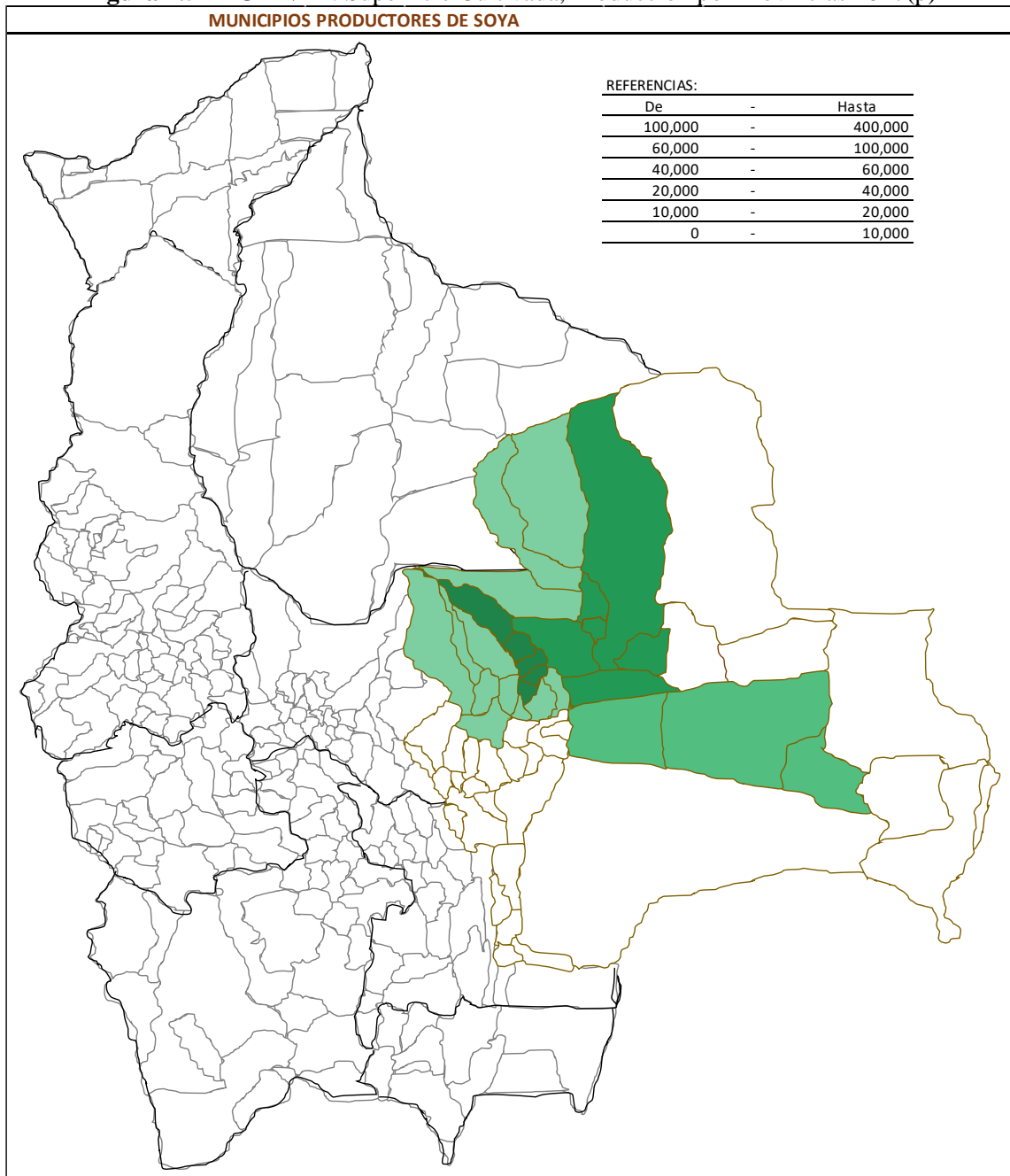
Fuente: Elaboración con datos en base a Asociación Nacional Productores de Oleaginosos y Trigo

Figura 2.4 - BOLIVIA: Superficie Cultivada, Producción por Municipios 2017(p)



Fuente: Elaboración con datos en base a Asociación Nacional Productores de Oleaginosos y Trigo

Figura 2.5 - BOLIVIA: Superficie Cultivada, Producción por Provincias 2017(p)



Fuente: Elaboración con datos en base a Asociación Nacional Productores de Oleaginosos y Trigo

2.7.2 ACTORES DEL COMPLEJO SOYERO DE BOLIVIA

Los productores de soya el 2011 según la investigación de (Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas, 2013) llegó a ser 14.100 productores. Cabe mencionar que las empresas dedicadas a la producción de soya con extensiones de cultivos entre 51 a 1.000 hectáreas deben registrarse y tributar a través del Régimen Agropecuario Unificado (RAU)¹⁵, de acuerdo al Decreto Supremo N° 24463 que se paga anualmente en función a la superficie de la propiedad utilizada, debe multiplicar la cantidad de hectáreas por la cuota fija, según (Impuestos Nacionales, 2013) los productores el 2013 pagaban 20,05 Bs/hectárea.

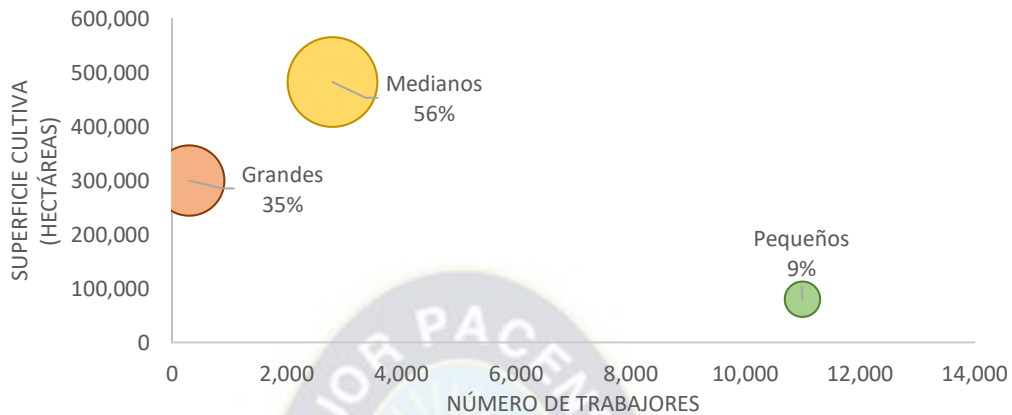
Las empresas más significativas registradas en el RAU son: Brasilera, Valle Esperanza, Nueva Holanda, Belice, Unisoya, Norte, Hohenau, Chihuahua, Las Piedras, Grupo Gama, El Cerro, Bertghal, San Julián, Manitoba y Las Palmas que representan aproximadamente el 15% de la soya acopiada.

Ahora las empresas que tienen una propiedad por encima de las 1.000 hectáreas no están inscritas en el RAU, pero proveen en gran medida a las empresas acopiadoras de grano de soya. Entre ellas mencionamos a las representativas: Agropecuaria Nuevo Amanecer, Desarrollos Agrícolas S.A., Jihussa S.A., Monica S.A., El Tejas S.A., Agroinga, Empresa Agropecuaria Sogimas, Agripac Boliviana Ltda., Cereales del Este S.A., Agrosem S.A., Intergrain, Granorte Granos y Semillas S.A., Agrícola Fam SRL. y CIAGRO.

Las número de los productores se clasifican según el tamaño de su predio, según estudio (Perez, 2008) en el grupo de pequeños productores, menor a 51 hectáreas, son 11.000 productores con un cultivo del 9%, a diferencia de los medianos productores, inscritos en el RAU, son 2.800 productores y tienen un cultivo del 56% y el restante 35% lo conforman las grandes empresas, aquellas que poseen alrededor de 300.000 productores.

¹⁵ Régimen especial que fue creado para el pago anual de impuestos por actividades agrícolas, no pueden emitir facturas, notas fiscales o documentos equivalentes. Véase mas (Impuestos Nacionales, 1996)

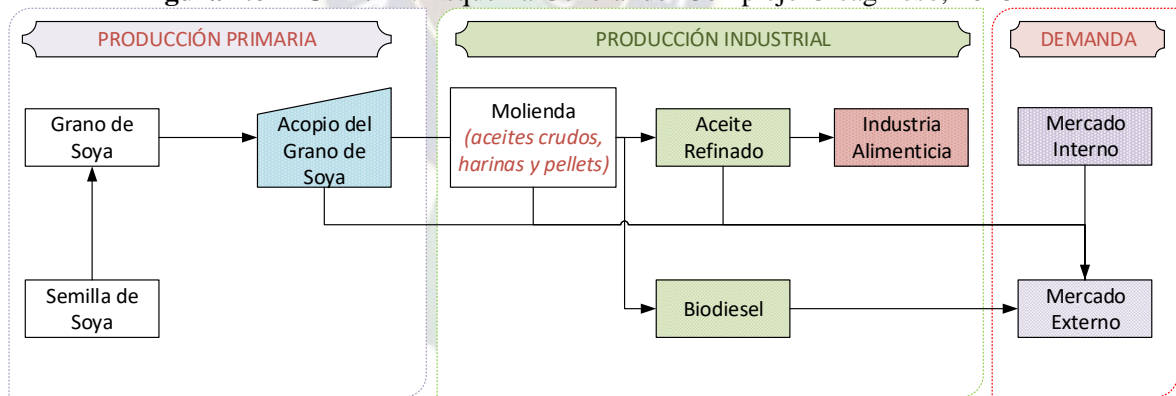
Gráfico 2.11 - BOLIVIA: Estratificación de trabajadores según tamaño de cultivo, 2011



Fuente: Elaboración con datos en base a Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo

A continuación, mostraremos un esquema general del complejo oleaginoso que permitirá analizar el proceso y destino de cada uno de ellos y las diferentes alternativas existentes de diversificación y oportunidades de negocio.

Figura 2.6- BOLIVIA: Esquema General del Complejo Oleaginoso, 2018



Fuente: Elaboración con datos en base a la Asociación Nacional de Productos Oleaginosos

2.7.3 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

El departamento de Santa Cruz aún tiene un gran potencial por aprovechamiento de la producción e industrialización de soya. Existen alrededor del cuatro millones de hectáreas de suelos con potencial de uso agrícola (12% de la superficie del Departamento), de las cuales cerca de dos millones de hectáreas son suelos arables que pueden ser utilizados en

forma sostenible para la producción agrícola en general y en particular para la producción soyera:

Cuadro 2.4 - BOLIVIA: Estratificación de trabajadores según tamaño de cultivo, 2011

CLASE	APTITUD DE SUELOS	SUPERFICIE (Ha)	%
II	Suelos para uso agrícola con pocas restricciones	330,907	0.92%
III	Suelos para uso agrícola con restricciones	2,555,230	7.10%
IV	Marginalmente aptas para agriculturas o cultivos	5,078,792	14.10%
V	Aptas para agricultura o cultivos permanentes - Probl.	5,462,056	15.17%
VI	Aptas para agricultura o cultivos perennes¹⁶ - Probl.	15,532,166	43.13%
VII	Marginalmente aptas para la ganadería - Restricciones	5,483,685	15.23%
VIII	No aptas para uso agropecuario - Protección	1,568,744	4.36%
TOTAL		36,011,580	100.00%

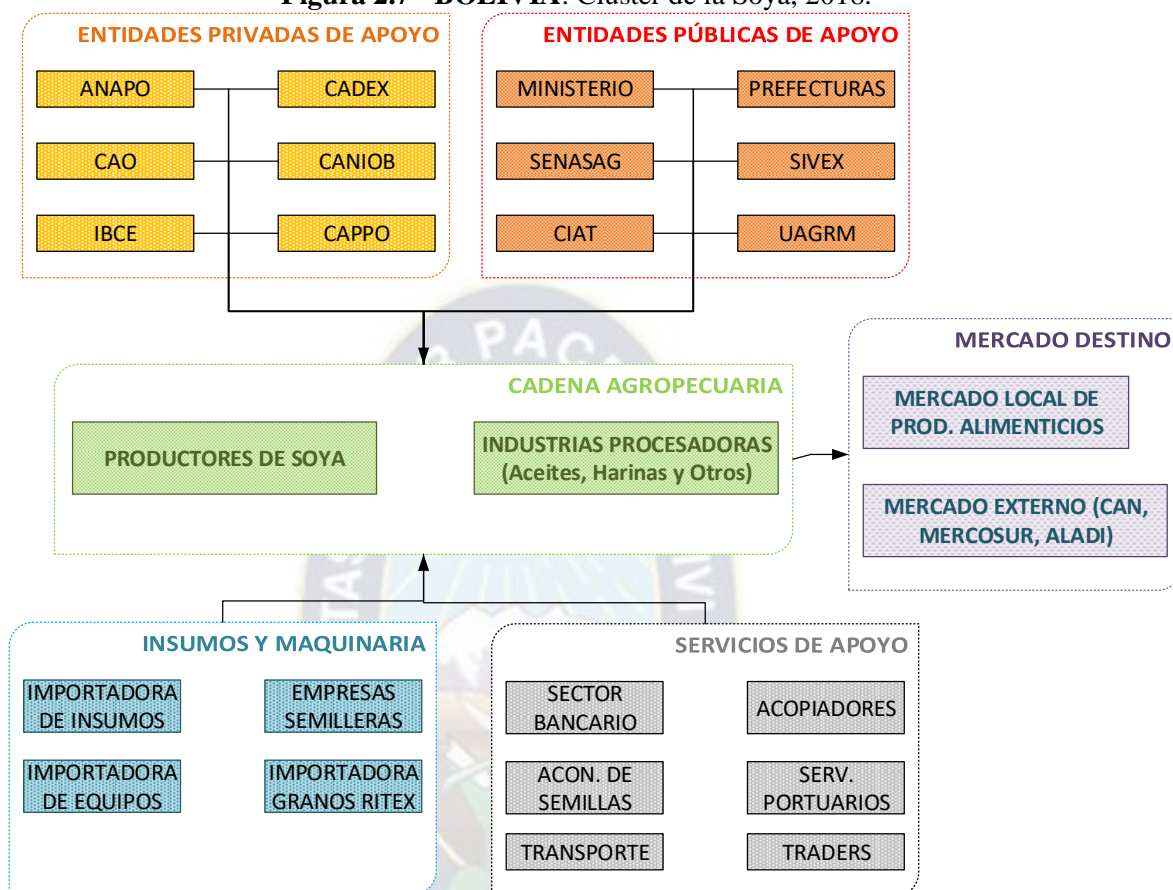
Fuente: Elaboración con datos en base a Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Trigo

2.8 CLÚSTER DE LA SOYA

Al ser un sector estratégico, existen varias empresas (privadas y públicas), servicios y empresas de importación/exportación. La elaboración de estrategias toma sentido en que cada sector pueda obtener beneficios comunes, como se puede apreciar en Figura 2.7 - BOLIVIA: Clúster de la Soya, 2018.

¹⁶ El cultivo de soya se clasifica como cultivos perennes, aquellas plantas que viven durante varias temporadas y presentan una serie de recursos que les permiten sobrevivir con mucha facilidad durante años y/o cosechas.

Figura 2.7 - BOLIVIA: Clúster de la Soya, 2018.



Fuente: Elaboración con datos en base a Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas

2.9 IMPACTO ECONOMICO

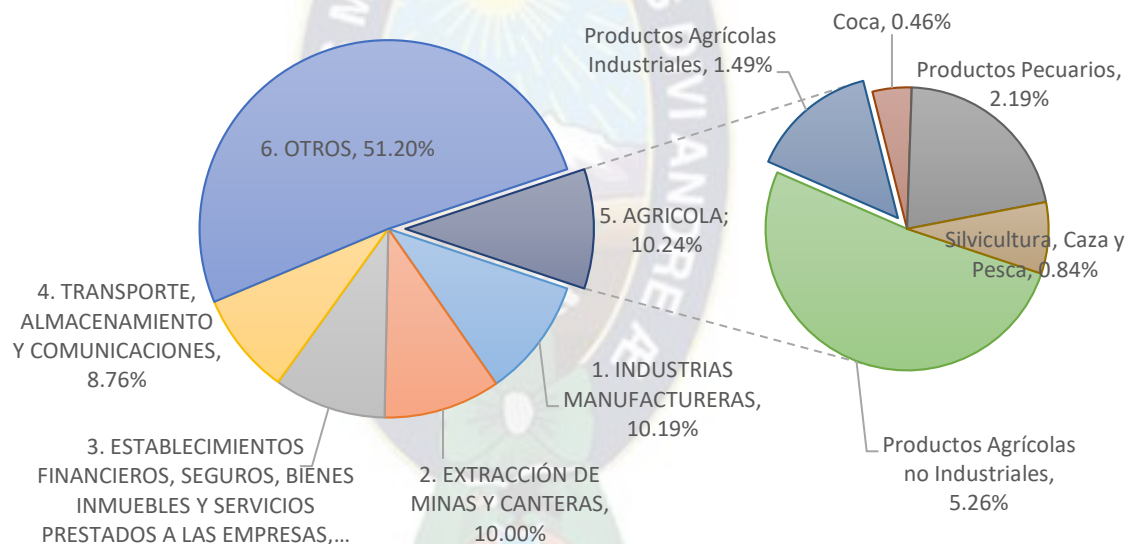
2.9.1 PRODUCTO INTERNO BRUTO

El sector oleaginoso y en especial el complejo sojero tomaron una presencia importante en la economía del país. Para la cuantificación del valor de producción por actividad económica enmarcado en el Sistema de Cuentas Nacionales 1990¹⁷ el Instituto Nacional de Estadística incorpora al complejo oleaginoso dentro del grupo productos agrícolas

¹⁷ Sistema de Cuentas Nacionales – INE 1990

industriales¹⁸ su aporte independiente a la economía es del 1,49%, que forma parte de Agricultura, Silvicultura, Caza y Pesca que contribuye en 10,24% al valor del PIB siendo la primera actividad económica con mayor participación, el sector de Industrias Manufactureras contribuye con el 10,19% seguido del sector de Extracción de Minas y Gas con el 10% en la gestión del 2015. Ver Gráfico 2.12 - BOLIVIA: *Aporte al PIB por actividad económica, 2018.* Aislando a los demás productos que conforman en esta actividad económica el sector sojero apporto en la gestión del 2015 un 1,14%

Gráfico 2.12 - BOLIVIA: Aporte al PIB por actividad económica, 2018.



Fuente: Elaboración con base en datos del Instituto Nacional de Estadística.

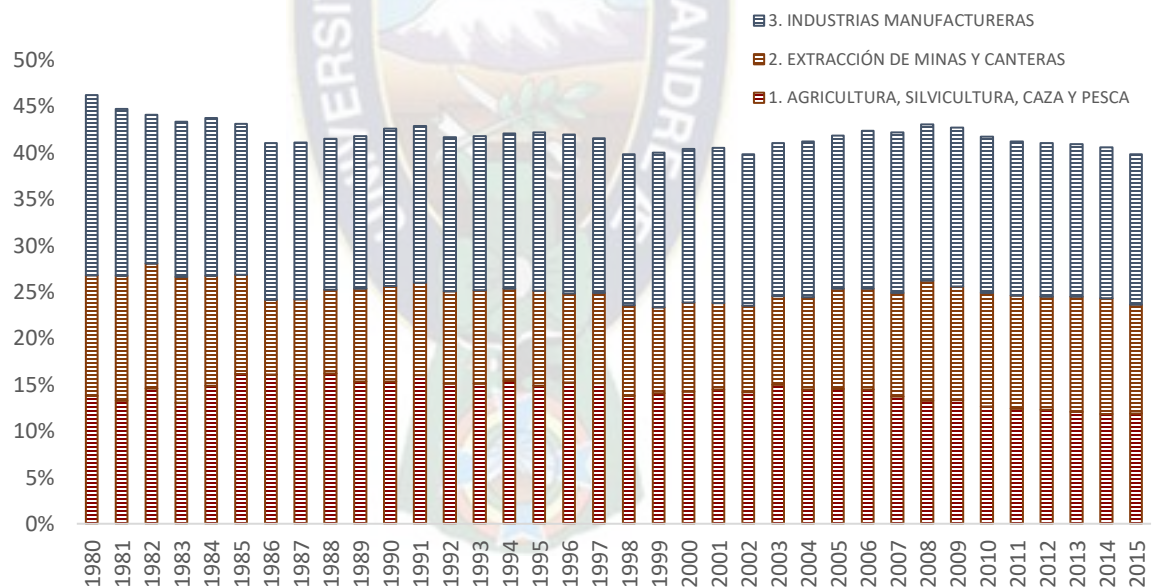
Para hacer una comparación válida sobre el flujo monetario vamos a comparar el valor de la producción en función del PIB Nominal entre los años de 1980 a 2015, el sector de la agricultura representaba el 16,95% del PIB ahora solo representa el 10,24%, sin embargo la producción real presenta una tendencia constante en 1980 representaba el 13,79% el 2015 bajo al 12% una caída no muy significativa, comparando la producción real con el

¹⁸ Productos Agrícolas Industriales, dedicada a la producción especializada de tiene una cobertura de: Oleaginosas, Caña de Azúcar, Fibra de algodón, Tabaco en rama, hojas de té, Servicios Prestados a los PAI y mejora de tierras y desarrollo de plantaciones. Ver mas (Instituto Nacional de Estadística, 2000)

nivel de precios podemos afirmar que el crecimiento económico se debe a cambios en la demanda y no así por incremento en la tecnología de la producción, y no es el único sector que muestra el mismo comportamiento, sector de Industria Manufacturera y el sector de minas y gas natural. Ver Gráfico 2.13 - BOLIVIA: Contribución al PIB Real (1990=100) (%), 1980-2015..

Estos efectos de los cambios en la demanda, que por condiciones de mercado afectan el precio por lo cual el valor de la producción se refleja en la tasa de crecimiento observamos que el crecimiento más alto se produjo el 2013 con una tasa del 6,80%, debido al aumento de precios de commodities el sector de hidrocarburos¹⁹ tuvo una mayor incidencia en el crecimiento económico de ese año pero no por un crecimiento al capital.

Gráfico 2.13 - BOLIVIA: Contribución al PIB Real (1990=100) (%), 1980-2015.



Fuente: Elaboración con datos en base a Instituto Nacional de Estadística.

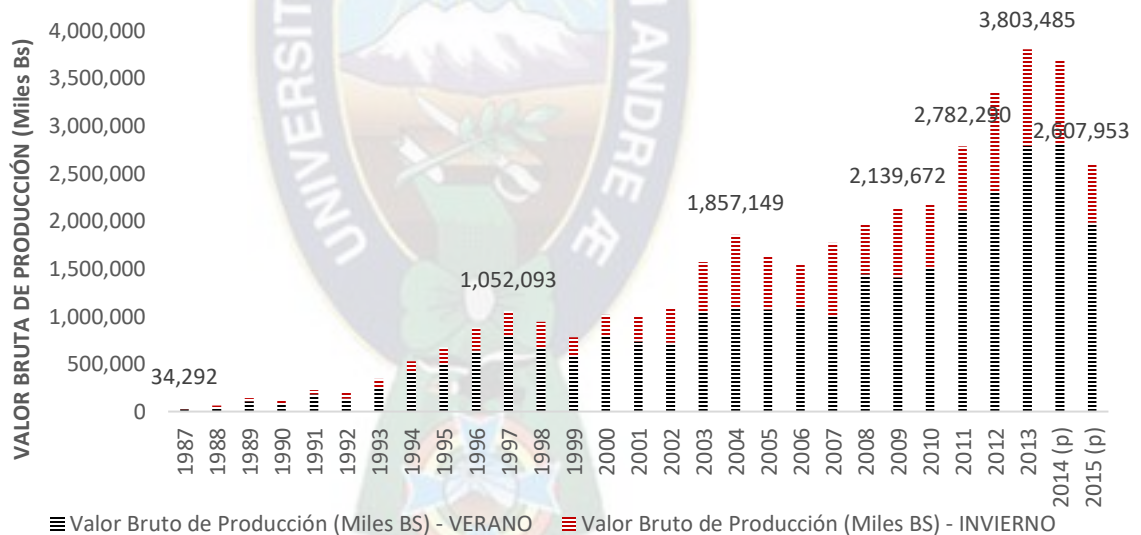
¹⁹ De acuerdo al IGAE, el sector de hidrocarburos tuvo una mayor incidencia en el crecimiento económico el país ese año. (Ministerio de Economía y Finanzas Públicas, 2014)

2.9.2 VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN DE LAS OLEAGINOSAS

El valor de la producción del grano de soya (VBP)²⁰ tanto de la campaña de verano como de invierno fue mayor el 2013 por el incremento en los precios de los commodities, el siguiente año bajo pese al aumento en la producción en 9,61% el valor de la producción bajo.

Los precios en la campaña de invierno son más elevados por la cantidad que se produce aproximadamente el 71% se cosecha en verano y el 29% en la campaña de invierno, según datos de (Asociación Nacional Productores de Oleaginosos, 2015) y (Observatorio Agroambiental y Productivo, 2016).

Gráfico 2.14 - BOLIVIA: Valor Bruto de la Producción de Grano de Soya (Miles de Bolivianos), 1987-2015



Fuente: Elaboración con datos en base a Banco Central de Bolivia, Instituto Nacional de Estadística y Asociación Nacional Productores de Oleaginosos y Trigo.

²⁰ VBP= VPP + OIO + MC + PP + FPAF;

VPP = VALOR DE PRODUCCIÓN; OIO = OTROS INGRESOS OPERATIVOS; MC = MARGEN COMERCIAL DE PRODUCTOS SIN TRANSFORMACIÓN; PP = VARIACIÓN DE EXISTENCIAS DE PRODUCTOS EN PROCESO;

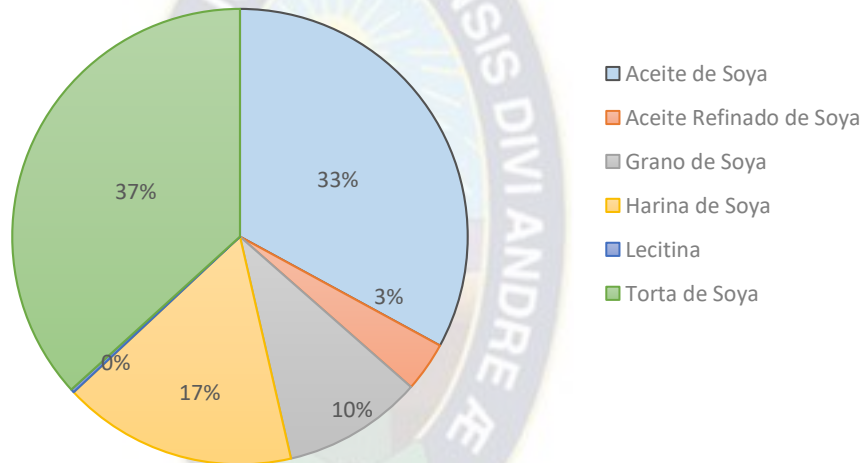
FAPF= FABRICACIÓN PROPIA DE ACTIVOS FIJOS. Ver Mas (Instituto Nacional de Estadística, 2000)

2.10 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

2.10.1 MERCADO INTERNACIONAL

De acuerdo a las publicaciones del Instituto Nacional de Comercio de Bolivia, vemos en el Gráfico 2.15 - BOLIVIA: **Exportaciones por Producto Oleaginoso, 2017**, exportamos 6 productos oleaginosos principalmente Aceite de Soya y Torta de Soya seguido por Harina de Soya.

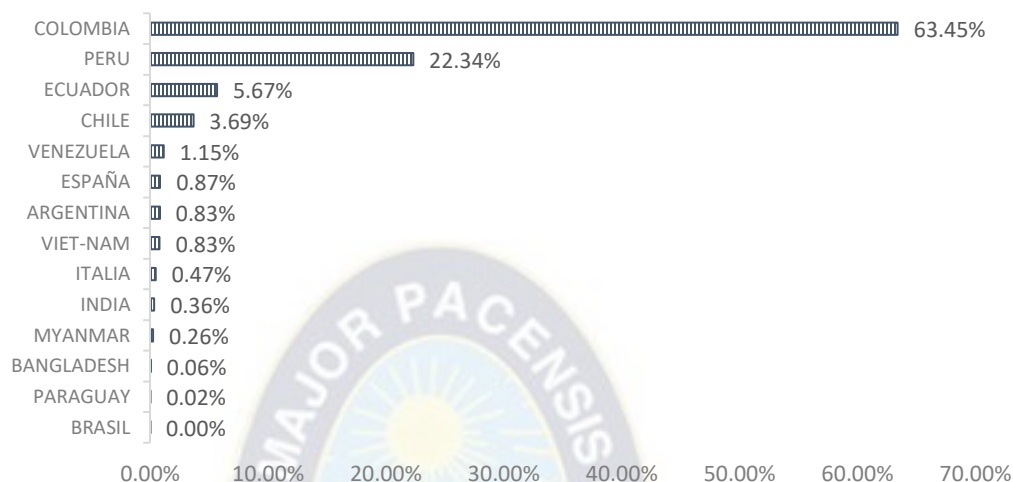
Gráfico 2.15 - BOLIVIA: Exportaciones por Producto Oleaginoso, 2017



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística e Instituto Nacional de Comercio de Bolivia.

El destino de todas las exportaciones realizadas en la gestión 2017, Colombia fue el país que demandó más los productos ya mencionados, estamos hablando de un 63.45% respecto del total de exportaciones. Desde un punto de vista de riesgo de concentración es alarmante depender tanto de un solo país, el concepto de diversificación ayudaría a expandir nuevos mercados y reducir el riesgo inherente a las relaciones contractuales que se tiene con el gobierno de Colombia.

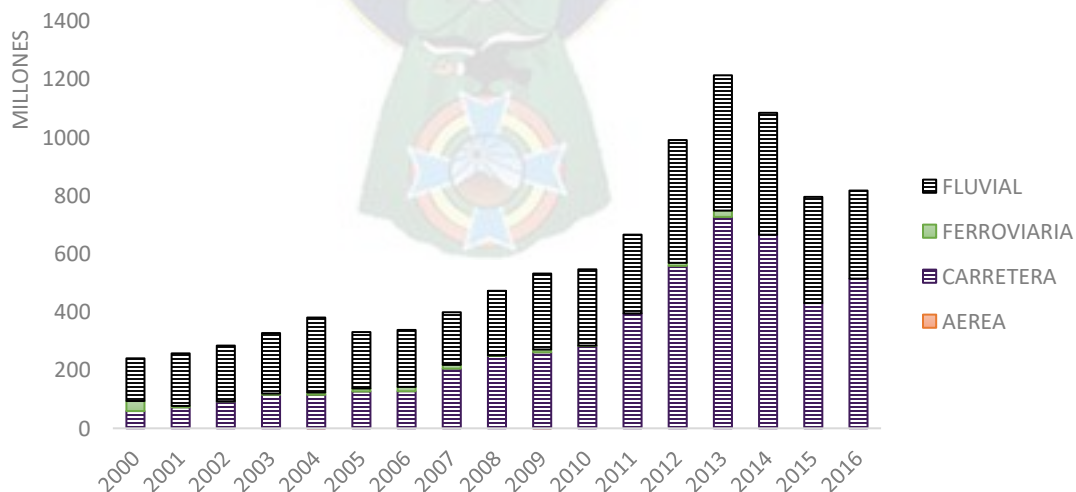
Gráfico 2.16 - BOLIVIA: Exportaciones por Mercado Destino, 2017



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística e Instituto Nacional de Comercio de Bolivia.

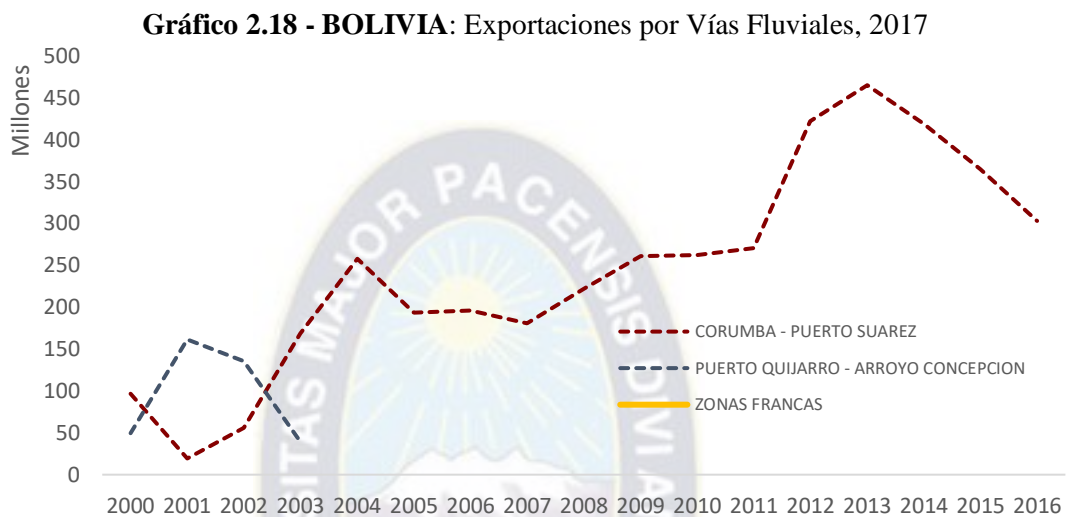
El medio de transporte por el cual Bolivia logró concretar negocios fue a través por medio fluviales y por carretera, por un factor de costos de comercialización. Gráfico 2.17 - BOLIVIA: Exportaciones **por Medio de Transporte**, 2017

Gráfico 2.17 - BOLIVIA: Exportaciones por Medio de Transporte, 2017



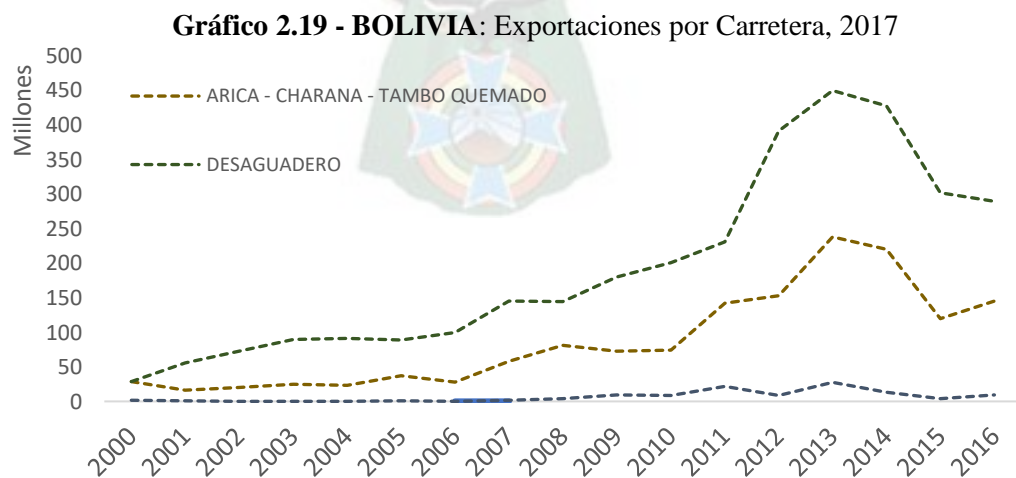
Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística e Instituto Nacional de Comercio de Bolivia.

Dentro del medio de transporte Fluvial se tiene que Bolivia exporto más por la vía Corumba – Puerto Suarez, y utilizo a un principio también el puerto de Quijarro – Arroyo Concepción, que ya fue dejada de utilizar en el año 2004.



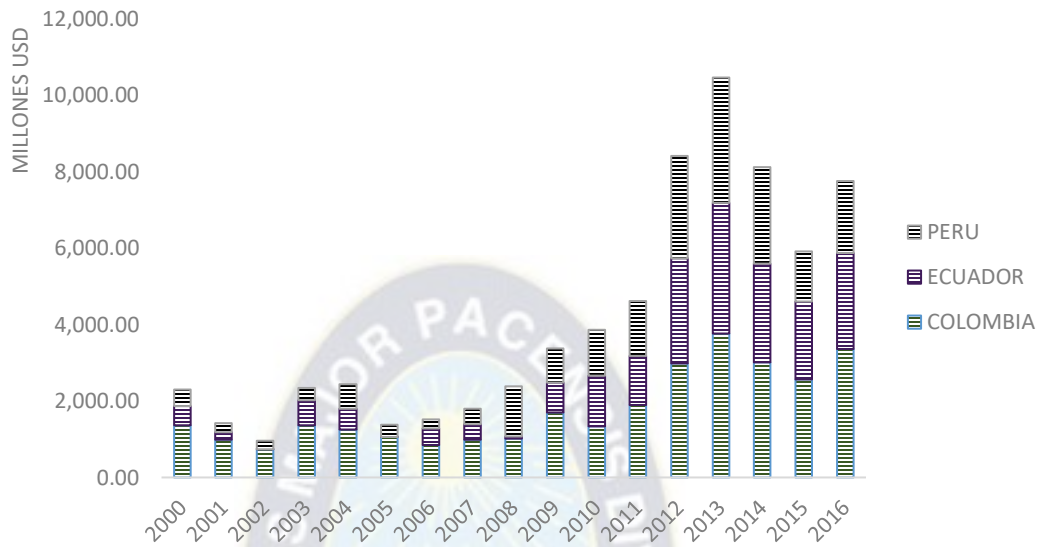
Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística e Instituto Nacional de Comercio de Bolivia.

Las carreteras más utilizadas fueron Desaguadero y la conexión de Arica – Charana y Tambo Quemado.



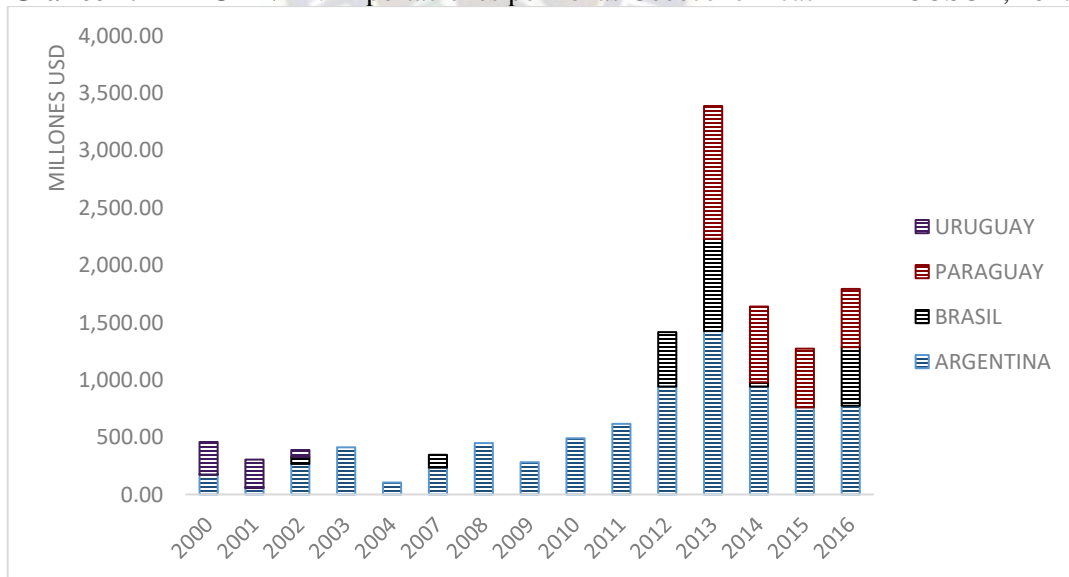
Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística e Instituto Nacional de Comercio de Bolivia.

Gráfico 2.20 - BOLIVIA: Exportaciones por zonas Geoeconómicas - CAN, 2017



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística e Instituto Nacional de Comercio de Bolivia.

Gráfico 2.21 - BOLIVIA: Exportaciones por zonas Geoeconómicas - MERCOSUR, 2017



Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística e Instituto Nacional de Comercio de Bolivia.

2.11 SECTORES INSTITUCIONALES

Se conformaron distintas asociaciones por los distintos productores de grano, en los cuales mencionamos a:

2.11.1 ASOCIACIÓN NACIONAL PRODUCTORES DE OLEAGINOSAS Y TRIGO (ANAPO)

La Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo (ANAPO), en 1974, por productores reunidos en el salón de Actos de la Cámara Agropecuaria del Oriente (CAO). La institución tiene por misión representar, defender, asesorar y asistir a sus asociados y simpatizantes, tanto al nivel técnico y legal, sobre sobre sus actividades agrícolas, de acuerdo a lo publicado en su pagina de la ANAPO.

2.11.2 CÁMARA NACIONAL DE INDUSTRIAS OLEAGINOSAS DE BOLIVIA (CANIOB)

La “Cámara Nacional de Industrias Oleaginosas de Bolivia (CANIOB)”, es una persona jurídica de derecho privado, constituida como entidad civil sin fines de lucro y conformada como un ente de coordinación que desarrolla actividades en beneficio de las industrias oleaginosas de Bolivia.

En el marco del ordenamiento jurídico vigente gestionar ante las distintas instancias públicas de Gobierno normas y disposiciones legales que beneficien a los miembros.

2.11.3 CÁMARA AGROPECUARIA DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DEL ORIENTE (CAPPO)

En la actualidad la CAPPO tiene más de 15.500 productores afiliados en todo el oriente boliviano, en distintos rubros de oleaginosas, maíz y verduras. Que tiene como fin tomar una serie de medidas económicas y técnicas, que permita reactivar la producción, que fue afectada por diversos factores.

2.11.4 ASOCIACIÓN COMUNITARIA INTEGRAL DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS DE CUATRO CAÑADAS (ACIPACC)

Esta asociación aglutina a más de 950 pequeños productores. El municipio de Cuatro Cañadas fue sede de la “1ra Feria Nacional de la Semilla del Este”, evento que fue organizado por el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF) en coordinación con la Asociación Comunitaria Integral de Productores Agropecuarios de Cuatro Cañadas (ACIPACC).

2.11.5 FEDERACIÓN SINDICAL ÚNICA DE TRABAJADORES CAMPESINOS PRODUCTORES AGROPECUARIOS DE LAS CUATRO PROVINCIAS DEL NORTE (FSUTCPA-4PN)

El Instituto Nacional de Reforma Agraria y la Federación Sindical Única de Trabajadores Campesinos Productores Agropecuario de las cuatro provincias del norte de Santa Cruz, firmaron un convenio de cooperación interinstitucional, que permitirá a FSUTCPA-4PN el saneamiento de predios a objeto de regularizar el derecho propietario predios individuales, sindicatos y comunidades.

2.12 CAMBIOS INSTITUCIONALES

“No obstante el auge indudable de la agroindustria nacional de oleaginosas, los cambios institucionales que se producen simultáneamente en Bolivia, en el entorno sudamericano de la CAN y el MERCOSUR, abren interrogantes sobre su porvenir y crecimiento, bajo condiciones de mercado muy diferentes a aquellas que propiciaron la aparición y fortalecimiento actual de este sector productivo. Un estudio de coyuntura en Bolivia acerca de este sector específico de la actividad económica -las oleaginosas- requiere abordar la difícil cuestión del cambio en las reglas de juego, formales e informales, que regulan la economía nacional”.

Tratados de Libre Comercio, de aquellas como la boliviana que han elegido auto centrar su desarrollo mediante la intervención del Estado en la producción y el comercio de bienes para consumo interno y de excedentes para exportar.

El problema en la actualidad radica en la necesidad de que el Gobierno respete sus propias reglas de juego al reconocer que *“El modelo económico boliviano es plural y está orientado a mejorar la calidad de vida y el vivir bien de todas las bolivianas y bolivianos. La economía plural está constituida por las formas de organización económica, comunitaria, estatal, privada y social cooperativa”*

Tal vez el punto de partida para lograr sinergias entre el Estado y los grupos económicos de poder en este sector sea un entendimiento cabal por parte de actores sociales públicos y privados acerca de qué es competitividad en el mercado internacional.

Esta situación parece haber logrado avances a lo largo del 2011 y el primer semestre del 2012, como se desprende de las declaraciones públicas del Presidente y Vice Presidente del Estado Plurinacional de Bolivia, que han estado convocando a trabajar como equipo entre el Gobierno y el sector privado.

Las exportaciones no tradicionales que son las que agregan valor, generan empleo e ingresos para cientos de trabajadores, sin embargo, no logran repuntar a los niveles que requiere la economía. En relación a este último punto cabe señalar, que son varias las gestiones en las que se han establecido prohibiciones para ciertos productos dentro de este tipo de exportaciones, lo que sin duda limita el desarrollo de varios rubros que la componen.

2.12.1 CAMBIOS INSTITUCIONALES INTERNOS

Anuncian el carácter y alcance de la Ley de Reconducción de la Reforma Agraria, calificada como revolución, las medidas de reversión, expropiación y redefinición de la FES para la protección de derechos propietarios; las acciones dirigidas a dotación de tierras con fines de redistribución a favor de quienes no fueron beneficiarios anteriormente; y la declaratoria de exclusividad en la dotación de tierras expropiadas por incumplimiento de la FES, a organizaciones sociales o sus miembros.

En la sección anterior se han dado las cifras sobre la actual situación de tenencia de la tierra, confirmando las acciones tomadas con relación al párrafo previo.

2.12.2 CAMBIOS INSTITUCIONALES EXTERNOS

Prosiguiendo con este análisis geopolítico, Jiménez continua: *“durante el 2006, el espacio económico sudamericano experimentó cambios políticos sustanciales que modificaron los regímenes de intercambio comercial, de varios países de la región, incluida Bolivia”*.

Las decisiones políticas antagónicas al tratamiento preferencial otorgado a Bolivia fueron adoptadas, por una parte, con el cierre de las negociaciones comerciales entre Colombia y Perú para suscribir tratados bilaterales de Libre Comercio con Estados Unidos de América; y por otra, con la renuncia de Venezuela a la Comunidad Andina y su adhesión al Mercado Común del Sur.

Las decisiones gubernamentales de los tres países sudamericanos mencionados iniciaron cambios irreversibles en dos procesos subregionales de integración comercial vinculados a la ALADI: CAN y MERCOSUR afectando, en particular, a todas aquellas empresas dependientes en distinto grado, o bien de una protección arancelaria frente a terceros mercados, o bien de preferencias arancelarias dentro de cada esquema de integración económica.

Otras iniciativas tales como el impulso a la Alternativa Bolivariana y el Tratado de Comercio entre los Pueblos con la participación de Bolivia, Cuba y Venezuela, la reintegración de Chile a la CAN y la renuncia de Ecuador a proseguir negociaciones comerciales bilaterales con Estados Unidos de América contribuyeron a marcar diferencias con un pasado reciente dominado más por la retórica que por la efectividad del libre comercio en mercancías y la libre circulación de capital financiero y de inversión productiva.

La situación de esos cambios políticos al presente se manifiesta en los resultados del comercio intrarregional de oleaginosas.

2.13 CONCLUSIONES

El gran crecimiento de las tierras destinadas al cultivo de soya sobre las otras oleaginosas, han convertido a este grano en el más importante del país, pese a que no se está cultivando a su capacidad máxima lo que nos da un rezago de 9 peldaños debajo de la producción de Paraguay, India, China y aún mas por los países de Estados Unidos, Brasil y Argentina.

El mercado del Aceite y Harina de soya es un mercado que ha mostrado un importante crecimiento durante los últimos años, con una fuerte orientación a la exportación que lo llevaron a abarcar más de un tercio del total de las mismas. A esto se le suma el importante papel que juega ante el auge del biocombustible.

El gran crecimiento del consumo de carnes en la dieta humana que ha tenido lugar en el mundo, genera como consecuencia el aumento de la demanda de soya, utilizado en la dieta de los animales. Ello, sumado a la gran actividad ganadera del país, lleva a suponer que no habría problemas en la colocación de soya.

Éste es un mercado que depende mucho de las condiciones macroeconómicas, y de las políticas que tenga Bolivia para comercializar con los demás países. Si se tiene en cuenta que la mayor parte del consumo interno de Aceite de Soya, el cual tiene una fuerte orientación a la exportación, se determina que es un sector vulnerable a la política mundial frente a la utilización de combustibles fósiles vs biocombustibles. Un cambio de ideología o de medidas pueden afectar en gran medida al negocio.

3 CAPÍTULO – ECONOMETRÍA DE SERIES DE TIEMPO, ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DEL SISTEMA ECONÓMICO DE CONTROL. -

3.1 INTRODUCCIÓN

La elaboración de un sistema de control económica, herramienta de dirección y gestión, implica un estudio a profundidad al sector sojero del comportamiento de sus variables de estado que a través de la cadena de valor de producción facilita la toma de decisiones y acelera el desarrollo de gestión, llevándonos al campo de la econometría, las series de tiempo fueron desarrolladas y aplicadas en varios sectores como: mercados financieros y/o económicos, producción entre otras, con el fin de realizar pronósticos de gran aporte. A continuación, analizaremos el método autorregresivo integrado de promedios móviles ARIMA y método multivariado autorregresivo de medias móviles con variables exógenas ARMAX.

Se plantearon diferentes desafíos para un óptimo pronóstico, el análisis empírico más importante lo conforman las *series de tiempo*, se analizará previamente seis puntos específicamente; estacionalidad, autocorrelación, regresión de serie de tiempo, fenómeno de caminata aleatoria, modelos de regresión y metodología de Box-Jenkins.

Los modelos utilizados en la presente investigación son funciones en tiempo discreto, conformado por un conjunto de números reales los cuales no guardan ninguna relación entre sí, y están equiespaciados por una cantidad llamada periodo de muestreo (puede estar expresado en años, meses o días).

Para la resolución de los problemas a estimar, elaboramos un programa en Visual Basic, que permite calcular los estimadores, integrar series de tiempo y combinar todas las posibilidades de modelos y obtener el mejor, con el algoritmo de Optimización, - y que sean explicados por sí mismos. Fue comparado con programas especiales como R y Eviews para verificar las salidas y estadísticas. A medida que vayamos presentando los diferentes conceptos explicaremos cómo funciona el algoritmo.

3.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

3.2.1 PROCESO ESTOCASTICO Y NO ESTOCASTICO

El análisis de series de tiempo se basa en la suposición de un componente estacional, estable a lo largo de tiempo y que tiende a oscilar alrededor de una media y variabilidad constante. Las series de tiempo se definen como un caso particular de un proceso estocástico²¹ estacional y no estacional.

En términos generales, un proceso estocástico “*es estacionario si su media y su varianza son constantes en el tiempo y si el valor de la covarianza entre dos periodos depende solo de la distancia o rezago entre estos dos periodos y no del tiempo en el cual se calculó la covarianza.....*” (Gujarati, 2010) por lo cual si la serie de tiempo es estacionaria, su media, su varianza y su autocovarianza permanecen iguales sin tomar en cuenta el periodo en el que fueron medidos se obtienen modelos *invariantes en el tiempo* cumpliendo así una de las propiedades de linealidad e invarianza en el tiempo (Sistemas Lineales). Un Sistema Lineal e Invariante en el Tiempo (Linear Time – Invariant) **LTI**, cumplen los siguientes principios:

- **Principio de Linealidad:** Engloba las propiedades de proporcionalidad o escalado y aditividad:
 - Propiedad de Proporcionalidad Que sea proporcional significa que cuando la entrada de un sistema es multiplicada por un factor, la salida del sistema también será multiplicada por el mismo factor.
 - Propiedad de Aditividad: Por otro lado, que un sistema sea aditivo significa que, si la entrada es el resultado de la suma de dos entradas, la salida será la resultante de la suma de las salidas que producirían cada una de esas entradas individualmente.

²¹ Un proceso estocástico o aleatorio “es una colección de variables aleatorias ordenadas en el tiempo. Ver más (Gujarati, 2010) el término de estocástico, proviene de la palabra “stokhos” que significa “Blanco” u “Objetivo”

- Principio de Linealidad: Un sistema incrementalmente lineal es aquel que, sin verificar la última condición, responde linealmente a los cambios en la entrada.
- **Principio de Invarianza**: Un sistema incrementalmente lineal es aquel que, sin verificar la última condición, responde linealmente a los cambios en la entrada.

La mayor parte de las series de tiempo son no estacionarias, como lo veremos más adelante, siguen un modelo llamado “*modelo de caminata aleatorio*” (MCA)²² basado en series que no tienen un patrón de tendencia como el precio de acciones o bonos entre otras, y existen dos tipos con o sin intercepto y tiene una estructura similar a:

Modelo Estocástico sin Deriva: $y_t = y_{t-1} + u_t$

Modelo Estocástico con Deriva: $y_t = \partial + y_{t-1} + u_t$

Una característica importante del MCA sin deriva es un proceso no estacionario porque existe la persistencia de choques aleatorios u_t y no se desvanece el impacto de un choque particular $y_t - y_{t-1} = u_t$ lo que su varianza aumenta de forma indefinida, violando una condición de estacionariedad.

$$y_t - y_{t-1} = \Delta y_t = u_t$$

Cabe recalcar que tienen una característica importante, Δ es el operador de primeras diferencias, si las primeras diferencias de series de tiempo de modelo caminata aleatoria MCA son *estacionarias*, es un ejemplo claro de lo que se conoce como “*Proceso de Raíz Unitaria*” que lo veremos más adelante.

A diferencia de lo ocurre con el modelo con deriva, la media y varianza incrementan con el tiempo por lo que también es un proceso no estacionario. Una serie de tiempo es un modelo autorregresivo de primer orden (Proceso AR) si logramos convertir en un Modelo

²² Los términos de raíz unitaria, no estacionariedad o caminata aleatoria se consideran sinónimos. (Gujarati, 2010)

de Caminata Aleatoria. El objetivo es encontrar que la serie de tiempo tenga una raíz unitaria, bajo el siguiente esquema:

$$y_t = \beta \cdot y_{t-1} + u_t$$

Si $|\beta| < 1$ podemos demostrar que la serie de tiempo es estacionaria. Si los modelos presentan un componente de deriva se les denomina: “Proceso Estocásticos Estacionarios en Tendencia” y si no tiene se denomina: “Proceso Estocásticos Estacionarios en Diferencia”.

En un modelo de caminata aleatoria, las primeras diferencias de una serie de tiempo no estacionarias al pasar por un proceso integrado de orden 1 denotado por $I(1)$ prueban que la serie se vuelve estacionaria y si se integran dos veces se tiene la nomenclatura $I(2)$. En general si una serie no estacionaria se integra d veces decimos que la serie es integrada de orden “ d ” $I(d)$.

3.2.2 MINIMOS CUADRADOS ORDINARIOS

El método mínimo cuadrados se ha convertido en uno de los más eficaces métodos de regresión, la suma de los residuos elevados al cuadrado es algún tipo de función de los *estimadores* de una función de regresión muestral. Los estimadores obtenidos se conocen como estimadores de mínimos cuadrados y cumplen con las siguientes características:

- i. Se expresan en términos de las cantidades observables. y_t
- ii. Son estimadores puntuales. β_i
- iii. Calculados los valores de los estimadores, se obtiene la Función de Regresión, cumpliendo lo siguiente:
 - El valor medio estimado es igual al valor medio real. y_t
 - El valor de los residuos tiende a cero. $\sum u_t^2 = \sum (y - \hat{y})^2 \cong 0$
 - Los residuos no están correlacionados con el valor pronosticado.
 - Los residuos no están correlacionados con la variable independiente.

La precisión de un estimador de mínimos cuadrados se mide por su error estándar²³ (ee). Y dados los supuestos de un modelo clásico de regresión lineal, las estimaciones de mínimos cuadrados es el mejor estimador lineal insesgado si cumple lo siguiente:

- i. Es lineal.
- ii. Es insesgado dado su valor promedio o esperado.
- iii. Es eficiente, porque tiene varianza mínima dentro de la clase de todos los estimadores lineales insesgados.

El modelo de k variables será expresado en notación matricial *Ver ANEXO A 1- ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE CONTROL – ARIMA, ARMAX* la solución es aplicable a una, dos, tres o cualquiera número de variables. Las ecuaciones simultáneas para estimar son del siguiente tipo:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \beta_1 + \beta_2 \cdot x_{21} + \beta_3 \cdot x_{31} + \beta_4 \cdot x_{41} + \dots + \beta_k \cdot x_{k1} + u_1 \\
 y_2 &= \beta_1 + \beta_2 \cdot x_{22} + \beta_3 \cdot x_{32} + \beta_4 \cdot x_{42} + \dots + \beta_k \cdot x_{k2} + u_1 \\
 &\dots\dots\dots \\
 y_n &= \beta_1 + \beta_2 \cdot x_{2n} + \beta_3 \cdot x_{3n} + \beta_4 \cdot x_{4n} + \dots + \beta_k \cdot x_{kn} + u_n
 \end{aligned}$$

En forma matricial lo expresamos de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{21} & x_{31} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{22} & x_{32} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{2n} & x_{3n} & \dots & x_{kn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{bmatrix}$$

$$Y = X \beta u$$

Donde:

Y: Vector columna nx1 de observaciones de la variable dependiente

²³ Es la desviación estándar de la distribución muestral de estimador, con los cuales se hace inferencia a los parámetros de la población. (Gujarati, 2010)

X: Matriz nxk con n observaciones sobre las k-1 variables donde la primera columna 1 representa el termino de intercepto.

B: Vector columna kx1 de los parámetros desconocidos

U: Vector columna nx1 de las n perturbaciones

La matriz presentada anteriormente se conoce como *representación matricial del modelo de regresión lineal general*, y los cálculos que realizamos lo resumimos en el siguiente recuadro:

Regresión lineal:

$$y = X \cdot \beta + u$$

Estimadores MCO:

$$\beta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y$$

Varianza – Covarianza:

$$var.cov(\beta) = \sigma^2 \cdot (X^T \cdot X)^{-1}$$

Suma de Cuadrados Residual:

$$u^T u = Y^T \cdot Y - \beta \cdot X^T \cdot Y$$

Suma de Cuadrados Estándares:

$$SCE = \beta \cdot X^T \cdot Y - n \cdot \bar{Y}^2$$

Suma de Cuadrados Totales:

$$SCT = Y^T \cdot Y - n \cdot \bar{Y}^2$$

Coefficiente de Regresión:

$$R^2 = \frac{\beta \cdot X^T \cdot Y - n \cdot \bar{Y}^2}{Y^T \cdot Y - n \cdot \bar{Y}^2}$$

Durbin Watson:

$$dw = \frac{\sum(u_t - u_{t-1})^2}{u_t}$$

El coeficiente de Durbin Watson sirve para identificar la presencia de una autocorrelación basado en el análisis de residuos.

3.3 MODELACIÓN DE SERIES DE TIEMPO

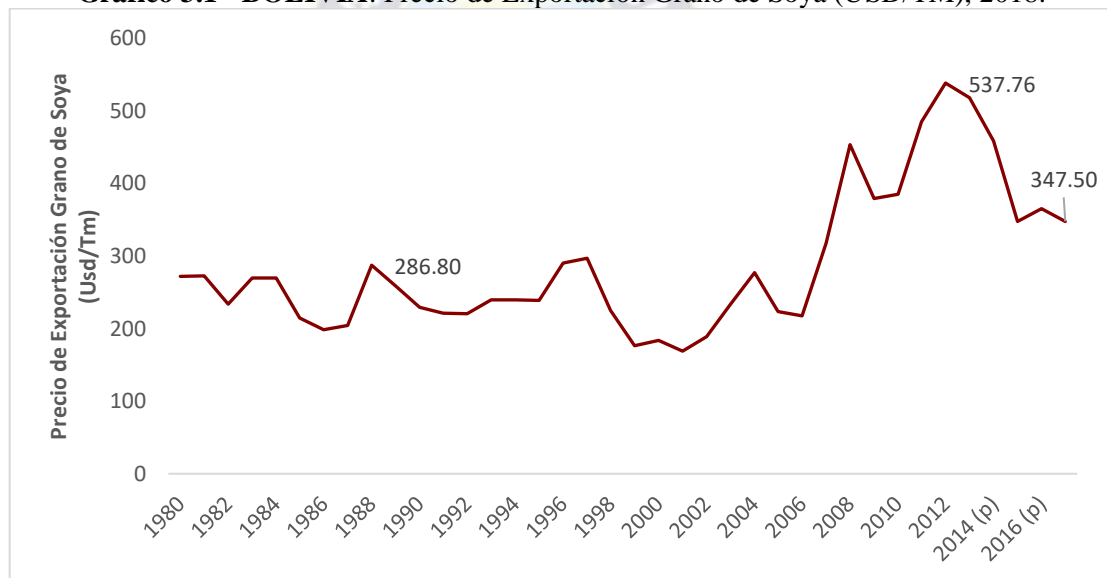
Al analizar la serie histórica de una muestra, nos vamos enfocando en la herramienta más importante de la econometría, *series de tiempo* y antes de entrar a la metodología que utilizamos iremos mostrando las pruebas de estacionariedad para la elaboración de los distintos modelos del sector sojero y que sus estimaciones cumplan con los supuestos de regresión lineal insesgado presentado anteriormente.

3.3.1 PRUEBAS DE ESTACIONARIEDAD

3.3.1.1 ANÁLISIS GRAFICO

Siempre es aconsejable graficar una serie de tiempo en estudio, estas graficas proporcionan una pista inicial sobre el comportamiento, como lo vemos en el siguiente grafico precio histórico de exportación del grano de soya, una clara línea de tendencia a la baja, pero intuimos que sea una serie no estacionaria porque sus variaciones incrementan en el tiempo.

Gráfico 3.1 - BOLIVIA: Precio de Exportación Grano de Soya (USD/TM), 2018.



Fuente: Elaboración con datos en base a Bolsa de Chicago.

3.3.1.2 FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN Y CORRELOGRAMA

Para poder identificar si una serie es estacionaria existen pruebas de estacionariedad, la prueba de función de autocorrelación y correlograma, la covarianza y varianza se miden mismas unidades se construye un correlograma donde sus valores oscilan de -1 a $+1$, otro método utilizado es llamado *Prueba de Raíz Unitaria*, que para poder estimar por Mínimos Cuadrados Ordinarios realiza el siguiente artificio matemático, debido a un sesgo en el cálculo:

$$y_t - y_{t-1} = \beta \cdot y_{t-1} - y_{t-1}u_t$$

$$\Delta y_t = (\beta - 1) \cdot y_{t-1} + u_t$$

$$\Delta y_t = \alpha \cdot y_{t-1} + u_t$$

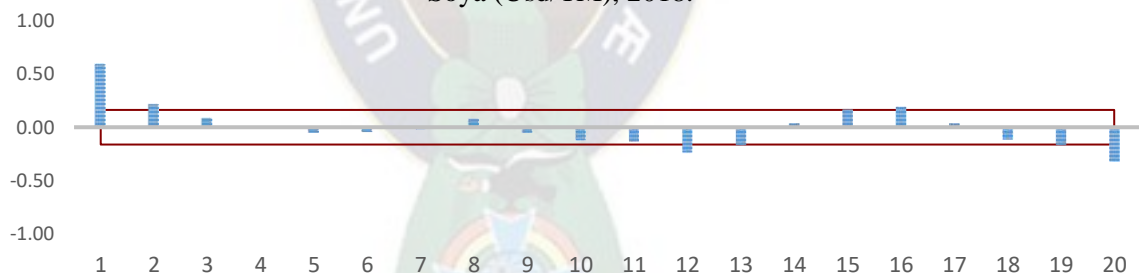
Donde se prueba que $\alpha = 0$, por lo tanto, $\beta = 1$, es decir tenemos una raíz unitaria lo que significa que la serie de tiempo estudiada es no estacionaria, pero si lo es en sus primeras diferencias.

La función de autocorrelación se denota por la siguiente expresión:

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}$$

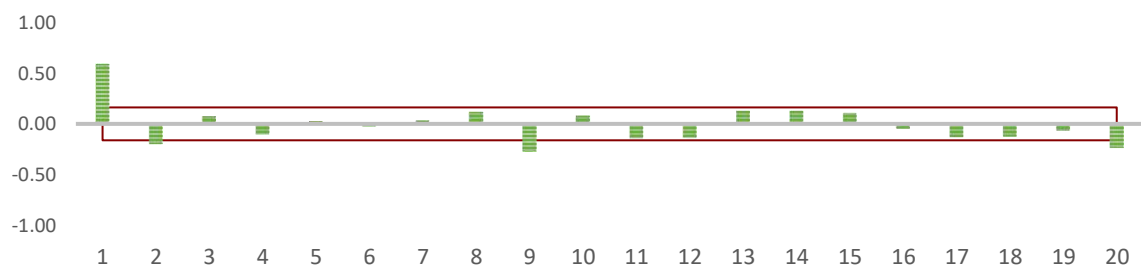
En el rezago k debemos calcular primero la covarianza muestral γ_k y la varianza muestral γ_0 y presentamos el algoritmo para el cálculo de la función de la autocorrelación *Ver ANEXO A 1- ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE CONTROL – ARIMA, ARMAX* Como lo vemos en el siguiente cuadro:

Gráfico 3.2 - ESTADÍSTICA: Función de Autocorrelación de Precio de Exportación Grano de Soya (Usd/TM), 2018.



Fuente: Elaboración con resultados en base al algoritmo de FAC (Anexo A.2)

Gráfico 3.3 - ESTADÍSTICA: Función de Autocorrelación Parcial de Precio de Exportación Grano de Soya (Usd/TM), 2018.



Fuente: Elaboración con resultados en base al algoritmo de FACP (Anexo A.2.)

Cuadro 3.1 - CORRELOGRAMA: Análisis Precio de Exportación Grano de Soya (1980-2018)

REZAGO	FAC	FACP	Q	Ancho +	Ancho -
1	0.588579372	0.588579372	13	0.16	-0.16
2	0.216262278	-0.199156232	15	0.16	-0.16
3	0.083151709	0.076050712	15	0.16	-0.16
4	-0.016470653	-0.106570284	15	0.16	-0.16
5	-0.048816095	0.026126351	15	0.16	-0.16
6	-0.046356278	-0.027308721	15	0.16	-0.16
7	-0.020513389	0.031370693	15	0.16	-0.16
8	0.077212662	0.118061677	16	0.16	-0.16
9	-0.050050408	-0.273955175	16	0.16	-0.16
10	-0.118325166	0.079978647	16	0.16	-0.16
11	-0.136431563	-0.141244951	17	0.16	-0.16
12	-0.233768887	-0.13588746	19	0.16	-0.16
13	-0.16399188	0.124665792	20	0.16	-0.16
14	0.034213502	0.125571241	20	0.16	-0.16
15	0.162561348	0.106951746	21	0.16	-0.16
16	0.190888004	-0.046647243	22	0.16	-0.16
17	0.033812672	-0.13217729	23	0.16	-0.16
18	-0.115531683	-0.126920292	23	0.16	-0.16
19	-0.165189571	-0.065290153	24	0.16	-0.16
20	-0.318802128	-0.238635224	28	0.16	-0.16

Fuente: Elaboración con datos en base al algoritmo de FAC y FACP (Anexo A.2.)

3.3.1.3 RAIZ UNITARIA

La prueba de estacionalidad más utilizada es conocida como Proceso de Raíz Unitaria, se basa en el siguiente modelo:

$$y_t = \alpha \cdot y_{t-1} + u_t$$

Donde sí α tiende a 1 se convierte en un modelo de caminata aleatoria donde verificamos que la serie es no estacionaria. Al momento de estimar por mínimos cuadrados con el rezago

y_{t-1} se tiene un sesgo, por lo que se transforma de la siguiente manera:

$$y_t - y_{t-1} = \alpha \cdot y_{t-1} - y_{t-1} + u_t$$

$$\Delta y_t = (\alpha - 1) \cdot y_{t-1} + u_t$$

$$\Delta y_t = \delta \cdot y_{t-1} + u_t$$

Probamos la hipótesis nula si $\delta = 0$ afirmando que tenemos una raíz unitaria y la hipótesis alternativa $\delta < 0$. Lo que indica que la serie es no estacionaria, pero si es estacionaria en sus primeras diferencias. Ahora para averiguar si el coeficiente δ es 0 el valor t-student no es el apropiado ya que está comprobado que no sigue una distribución asintótica, motivo por el cual Dickey y Fuller probaron que sigue el estadístico tau (τ). Analizando la naturaleza de la estacionalidad de una serie de tiempo nos encontramos con la posibilidad que tenga una tendencia determinística o en diferencias. Existen tres hipótesis:

Modelo de Caminata Aleatoria: $\Delta y_t = \delta \cdot y_{t-1} + u_t$

Modelo de Caminata Aleatoria con deriva $\Delta y_t = \beta_1 + \delta \cdot y_{t-1} + u_t$

MCA con deriva y alrededor de una tendencia: $\Delta y_t = \beta_1 + \beta_2 \cdot t + \delta \cdot y_{t-1} + u_t$

Para cada caso se maneja las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula: $\delta = 0$ (Existe una raíz unitaria, la serie es no estacionaria)

Hipótesis Alternativa: $\delta < 0$ (No existe una raíz unitaria, la serie es estacionaria)

Si en caso $\delta > 0$ implica que α es mayor a 1 por lo que se descarta automáticamente, ya que en una ecuación diferencial de primer orden la condición de estabilidad requiere que $[\alpha] < 1$

Las pruebas también se programaron en Visual Basic, Ver ANEXO A 1- ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE CONTROL – ARIMA, ARMAX Cabe recalcar que analiza los tres modelos y obtiene los mismos resultados en el programa de Eviews, a continuación presentamos el cálculo de series de tiempo:

Cuadro 3.2 - PRUEBA DE RAIZ UNITARIA: Precio de Exportación Grano de Soya (1980-2018)

1. AUTOCORRELACIÓN						
DURBIN WATSON	DU	D	4-DU	k	CRITERIO	
SERIE	1.535	2.0853779	2.465	1	NO HAY CORRELACIÓN	
SERIE-DERIVA	1.535	1.8023901	2.465	1	NO HAY CORRELACIÓN	
SERIE-DERIVA-TENDENCIA	1.594	1.8046303	2.406	2	NO HAY CORRELACIÓN	

2. PRUEBA SIMPLE DE DICK FULLER						
TAU - DICK FULLER	1%	5%	10%	m	t-student	CRITERIO
SERIE	-2.66	-1.95	-1.61	1	-0.9514341	COEF. NO SIGNIFICATIVO
SERIE-DERIVA	-3.75	-3.00	-2.61	2	-3.1209281	COEF. NO SIGNIFICATIVO
SERIE-DERIVA-TENDENCIA	-4.38	-3.60	-3.21	3	-3.3988547	COEF. NO SIGNIFICATIVO

PRUEBA DE ESTACIONARIDAD- HIPOTESIS:				RAIZ UNITARIA
--------------------------------------	--	--	--	---------------

Fuente: Elaboración con datos en base al algoritmo de FAC y FACP (Anexo A.2.)

Un análisis previo indica que la serie de tiempo de los precios de exportación de soya es una serie no estacionaria.

3.3.1.4 ANÁLISIS DE MEDIA Y VARIANZA DE RESIDUOS

Para verificar que tengamos una media constante y varianza constante, se utiliza la prueba general de heterocedasticidad de White, se hace una regresión de mínimos cuadrados con una constante y tendencia, un modelo parecido al siguiente:

$$y_t = \varphi_1 + \varphi_2 \cdot t + u_t$$

Si el valor de φ da un valor < 0.05 de significancia entonces la media de y_t no es constante (*Hipótesis Nula*) y si da un valor > 0.05 se concluye que es constante. Entonces paso a paso se realiza lo siguiente:

- i. Se obtiene los residuos de la estimación de la anterior ecuación
- ii. Se estima una regresión auxiliar:
- iii. Según la hipótesis nula de que no hay heterocedasticidad, obtiene un R (coeficiente de regresión) elevado al cuadrado y multiplicado por el número de observaciones siguen una distribución ji cuadrada.
- iv. Si el valor de no excede el valor de ji cuadrado no existe heterocedasticidad.

El procedimiento anteriormente descrito se encuentra programado también en Visual Basic, Ver ANEXO A 1– ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE CONTROL – ARIMA, ARMAX. A continuación, mostramos el resultado como ejemplo.

Cuadro 3.3 - HETEROCEDASTICIDAD: Precio de Exportación Grano de Soya (1980-2018)

Variable	β	σ	t-student	Probabilidad
φ	-1.701667	17.57939	-0.096799	0.9234
φ	0.197243	0.806598	0.244537	0.8082
Fisher	2.611062	Probabilidad. F(2,34)		0.0881
$n \cdot R^2$	4.926265	Probabilidad. ji-cua.		0.0852
SS	5.164094	Probabilidad. Ji-cua		0.0756

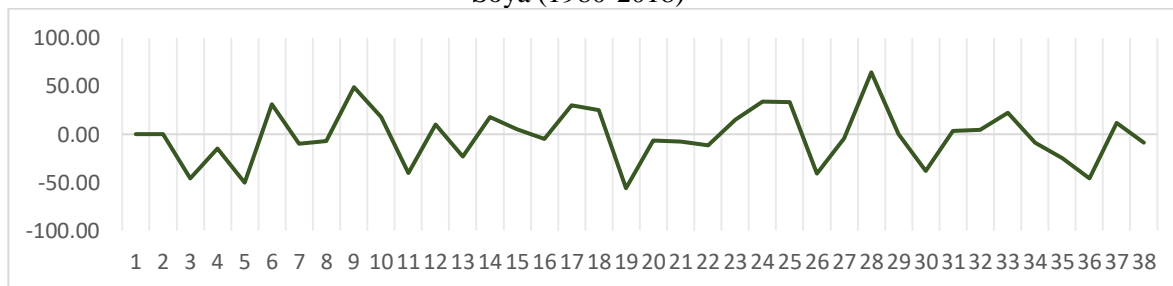
Fuente: Elaboración con datos en base al algoritmo Prueba de Heterocedasticidad (Anexo A.3.)

3.3.2 TRANSFORMACIÓN DE SERIES DE TIEMPO NO ESTACIONARIAS

El modelo de caminata aleatoria no es más que un caso específico de una clase más conocido como el proceso de integración, como lo vimos anteriormente es estacionaria en sus primeras diferencias, por lo que se llama proceso *integrado de orden 1*, denotado como $I(1)$. Una serie de tiempo y_t integrada de orden d se denota como $y_t \sim I(d)$, por lo tanto, una serie integrada de orden 0 será lo mismo decir una serie de tiempo estacionaria.

El algoritmo para proceder a integrar una serie de orden 1 o al orden que se necesite, se muestra en ANEXO A 1– ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE CONTROL – ARIMA, ARMAX. Donde en el gráfico se tiene que la media y varianza se mantiene en el transcurso del tiempo por lo que señales de estacionariedad.

Gráfico 3.4 - ESTADÍSTICA: Proceso de Integración de orden 1 - Precio Exp. de Grano de Soya (1980-2018)



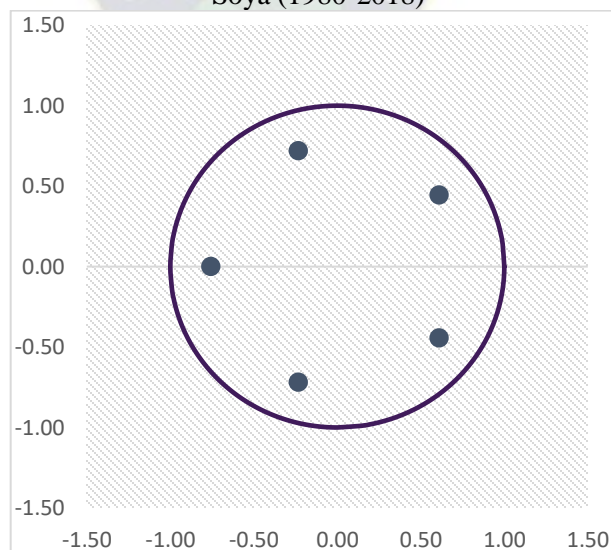
Fuente: Elaboración con datos en base al algoritmo de Integración (Anexo A.5.)

3.4 EVALUACIÓN DE LA SALIDA DEL MODELO ESTACIONARIO

Los modelos obtenidos en el presente capítulo son ecuaciones en diferencias de orden (n), para analizar las salidas del sistema en diferencias y probar su estabilidad, vemos polos y ceros de un sistema, entrando ya a *ingeniería de sistemas*, en una función de transferencia, los ceros son las raíces del numerador y los polos son las raíces del denominador. Los valores de los ceros y de los polos nos indican respecto al comportamiento del sistema, si es estable o inestable, amortiguado o subamortiguado, etc. Así también, los polos y los ceros nos dan indicación del comportamiento en frecuencia del sistema, reiterándolo lo veremos con más profundidad en el capítulo 3 de la presente investigación donde armaremos la función de transferencia.

La necesidad de explicar los polos y ceros y que indican si el sistema es estable o inestable, lo vemos en el siguiente gráfico, y evaluamos un ejemplo del modelo de precios de exportación de grano de soya, donde las raíces del modelo ARIMA (1,1,3) tiene las siguientes raíces:

Gráfico 3.5 - ESTADÍSTICA: Raíces del Modelo ARIMA (1,1,3) Precio Exp. de Grano de Soya (1980-2018)



Fuente: Elaboración con datos en base al algoritmo de Polos y Ceros, (Anexo A.6.)

3.5 CREACIÓN DE MODELOS AR, MA, ARIMA PARA SERIES DE TIEMPO

A continuación, mostraremos los diversos trabajos realizados en series de tiempo, recordando que si una serie es estacionaria se puede modelar de diferentes maneras ya sea un proceso autorregresivo, proceso de medias móviles y procesos combinados e integrados.

3.5.1 PROCESO AUTORREGRESIVO – MODELO AR

Si una serie es estacionaria se puede diseñar de la siguiente manera:

$$(y_t - \varphi) = \alpha \cdot (y_{t-1} - \varphi) + u_t$$

Donde φ es la media de y y u_t es un término de error aleatorio con media cero y varianza constante, conocida también como *ruido blanco*, sigue un proceso **autorregresivo de primer orden** o más conocido como modelos **AR (1)**, donde el valor de y_t depende de su valor en el periodo anterior y_{t-1} más un ruido blanco, por lo que el valor pronosticado solo es igual a una proporción α de un valor anterior más una perturbación aleatoria. Ahora, generalizando el modelo se tiene que:

$$(y_t - \varphi) = \alpha_1 \cdot (y_{t-1} - \varphi) + \alpha_2 \cdot (y_{t-2} - \varphi) + \dots \dots + \alpha_p \cdot (y_{t-p} - \varphi) + u_t$$

En este caso se dice que y_t sigue un proceso **autorregresivo de orden p** o **AR (p)**

3.5.2 PROCESO DE MEDIAS MOVILES – MODELO MA

Otra alternativa de modelar series estacionarias, es la siguiente:

$$y_t = u + \beta_0 \cdot u_t + \beta_1 \cdot u_{t-1}$$

Donde u es una constante y termino de error estocástico de ruido blanco, y en el periodo t es igual a la suma de una constante más un promedio móvil de los términos de error presente y pasado, y sigue un proceso de **promedios móviles de primer orden** o abreviado como **MA (1)**. En forma más general se tiene:

$$y_t = u + \beta_0 \cdot u_t + \beta_1 \cdot u_{t-1} + \dots \dots \dots + \beta_q \cdot u_{t-q}$$

Es una combinación lineal de términos de error de ruido blanco.

3.5.3 PROCESO AUTORREGRESIVO Y DE PROMEDIOS MOVILES - MODELOS ARMA

Existen varios casos donde nos encontramos con modelos combinados AR y MA, por consiguiente se dice modelos ARMA, y se describe como:

$$y_t = \theta + \alpha_1 \cdot y_{t-1} + \beta_0 \cdot u_t + \beta_1 \cdot u_{t-1}$$

Modelo ARMA (1,1) porque tiene un término autorregresivo y uno de promedios móviles.

3.5.4 PROCESO AUTORREGRESIVO INTEGRADO Y DE PROMEDIOS MOVILES - MODELOS ARIMA

Si al diferenciar una serie de tiempo d veces para hacerla estacionaria y luego aplicar el modelo ARMA, decimos que es una serie de tiempo *autorregresiva integrada de promedios móviles* ARIMA (p, d, q). Y tiene la siguiente estructura:

$$\Delta y_t = \theta + \alpha_1 \cdot \Delta y_{t-1} + \beta_0 \cdot u_t + \beta_1 \cdot u_{t-1}$$

Donde Δ es el operador de primeras diferencias, en el ejemplo es $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ y se expresa como un modelo I (1) si fuese un modelo I (2) se interpreta de la siguiente manera:

$$\Delta \Delta y_t = \Delta(y_t - y_{t-1}) = y_t - 2 \cdot y_{t-1} + y_{t-2}$$

3.6 METODOLOGIA DE BOX JENKINS

La metodología de Box-Jenkins se popularizó en su publicación “*Time Series Analysis: Forecasting and Control*”, conocida como modelo ARIMA, se basa en el análisis de las propiedades probabilísticas de series de tiempo que se explican por sí mismas, modelos univariados. Sin embargo, el análisis puede extenderse a modelos multivariados ARMAX.

Como saber si un proceso es un modelo puro AR o MA o si es un proceso ARIMA o ARMAX, con la siguiente metodología nos ayudara a escoger el mejor modelo que cumpla con todas las condiciones que buscamos:

i. Identificación, Análisis del correlograma y correlograma parcial

ii. Estimación, Identificado los valores de p y q correspondientes al número de orden de los modelos AR y MA.

iii. Examen de Diagnostico, seleccionado un modelo ARIMA particular, se requiere una habilidad para seleccionar un modelo lo que haremos en la presente investigación es utilizar un análisis a los residuos de la regresión para identificar si su media es cero y si tienen una varianza constante a lo largo del tiempo.

iv. Pronostico, La precisión de los modelos ARIMA a pronosticar a corto plazo son bastantes útiles y eficientes que cualquier modelo econométrico tradicional.

3.7 ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DEL SISTEMA DE CONTROL ECONOMICO OLEAGINOSO

Como lo fuimos explicando todas las herramientas fueron desarrolladas en Visual Basic, nos ayudara a evaluar cada variable en la presente investigación. La metodología de Box Jekins se encuentra desarrollado en el *ANEXO A 1- ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE CONTROL – ARIMA, ARMAX*.

El esquema mostrado a continuación, representa al modelo general de control de la industria sojera, que también puede utilizarse para cualquier otra industria, representada en unidades monetarias, las dos señales de entrada y salida representan la cantidad monetaria de producción de aceite de soya y harina de soya y el gobierno toma la decisión de aumentar la oferta por inversiones privadas dependiendo de los incentivos que da el gobierno a través de impuestos o de incrementar la demanda final que puedan coadyuvar el crecimiento de la producción de aceite y harina de soya con varios convenios que el gobierno puede tener acceso.

En este punto en especial utilizaremos los métodos explicados anteriormente para estimar los parámetros de nuestro sistema de control económico, analizando los precios locales y

de exportación, de los productos de grano de soya, harina de soya y aceite de soya a un principio y posteriormente el análisis al sistema de producción como tal.

3.7.1 FUNCIÓN DE PRECIOS DEL SECTOR OLEAGINOSO

Los precios del grano de soya, harina de soya y aceite de soya *ANEXO A 2 - PRECIOS LOCALES E INTERNACIONALES*, se obtuvieron la información de Asociación Nacional de Oleaginosas, Instituto Nacional de Comercio de Bolivia y de las bolsas de valores de Chicago y Argentina.

Se aplicarán el método de Box-Jenkins para tener el mejor modelo que explique y cumpla con las condiciones de linealidad y estacionalidad.

3.7.1.1 ANÁLISIS DE PRECIOS DEL GRANO DE SOYA

Graficamos el comportamiento que ha tenido el precio de exportación del grano de soya de 1980 al 2017, y se aprecia que tiene un comportamiento no estacional a primera vista y haciendo correr las pruebas de estacionalidad, del correlograma se consideran los valores de Autocorrelación Parcial para los términos de AR y los valores Autocorrelación para los términos MA, los que sobrepasen el ancho de banda del correlograma, serán utilizados para el modelo econométrico. De lo anterior obtenemos 3 términos para AR y 6 términos para MA, un total de 9 posibles combinaciones, lo que implica analizar 511 modelos²⁴. El proceso se repite para el cálculo de los precios de harina de soya y aceite de soya.

Existe una restricción en el cual no es posible analizar los 511 modelos y compararlos de forma automatizada, motivo por el cual desarrollamos un software en visual Basic donde permite generar sin problemas los modelos. El resumen lo presentamos a continuación que pasaron los siguientes test:

1. Existencia de todos los coeficientes

²⁴ $\#Comb. = 2^{Total\ Combinaciones} - 1 = 2^6 - 1 = 511$

2. Coeficientes significativos, probabilidad de 0.05

3. El menor valor estadístico de Akaike.

El modelo seleccionado de precios de grano de soya exportación es un modelo ARIMA (2,1,2) sus coeficientes son significativos, no existe presencia de autocorrelación en sus residuos,

$$\Delta p_{1t} = -0.3653 \cdot \Delta p_{1t-2} - 0.2407 \cdot u_{1t-8}$$

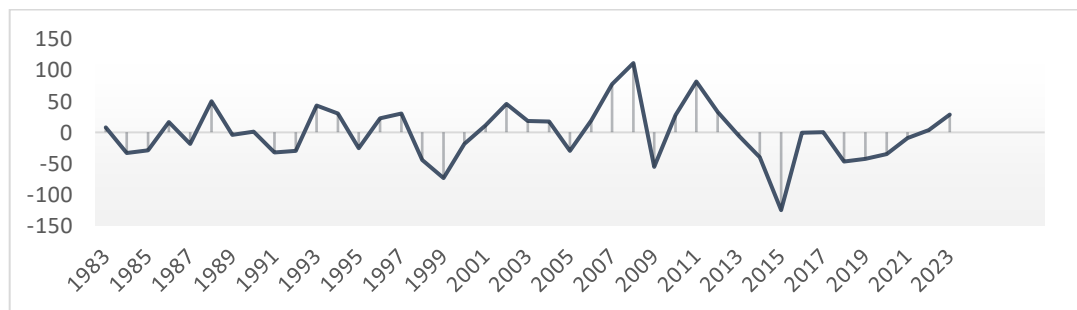
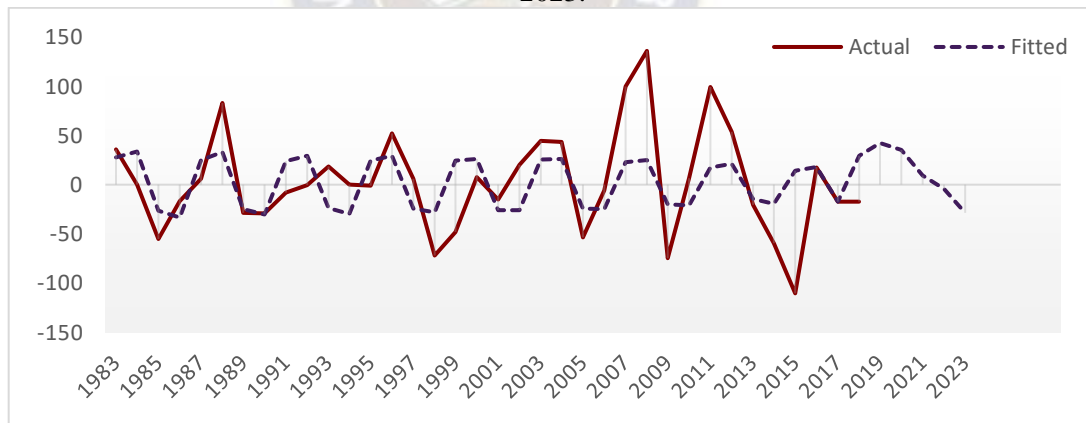
$$t = (-34.9955) \quad (18.1904)$$

$$ee = (0.034) \quad (0.027)$$

$$dw = 2.1736$$

Graficando sus residuos y la regresión del modelo integrado de orden 1:

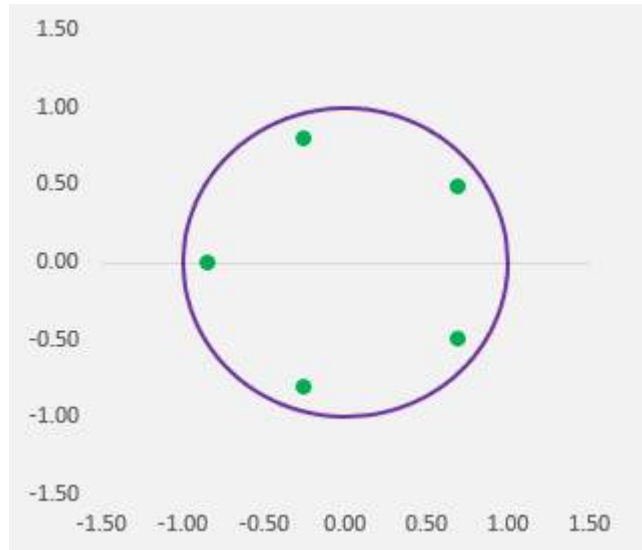
Gráfico 3.6 -ANÁLISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya de Exportación De orden 1, 2023.



Fuente: Elaboración con datos en base a la Metodología de Box-Jenkins

Analizamos la estabilidad del sistema, sus raíces de los polos y veros:

Gráfico 3.7 - ANALISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya de Exportación De orden 1, 2017.

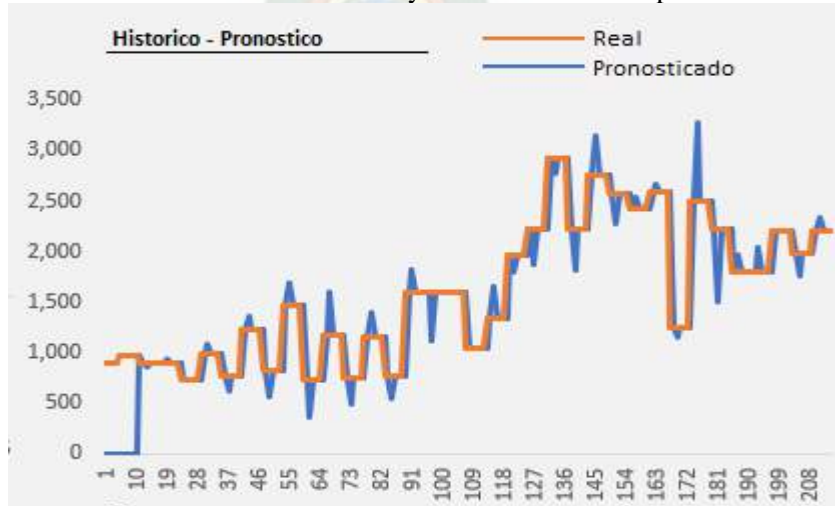


Fuente: Elaboración con datos en base Estabilidad del Sistema

Las proyecciones para los futuros años a mediano plazo están dadas por la siguiente ecuación:

$$p_{1t} = 1 \cdot p_{1t-1} - 0.58 \cdot p_{1t-6} - 0.58 \cdot p_{1t-7}$$

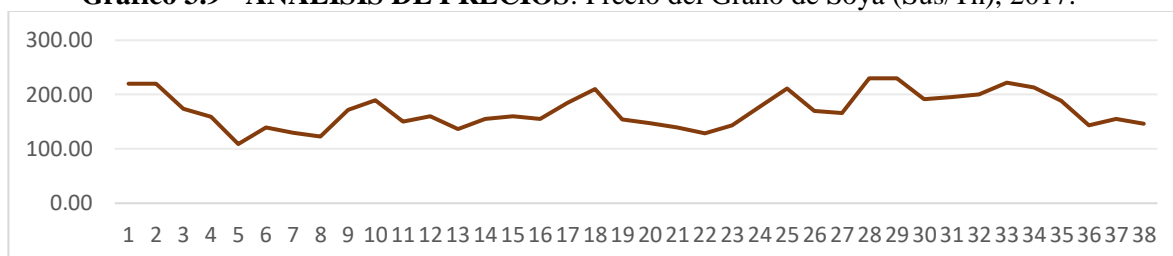
Gráfico 3.8 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Proyección Precio de Exportación del Grano de Soya



Fuente: Elaboración con datos en base Metodología de Box-Jenkins

Graficamos el comportamiento que ha tenido los precios locales del grano de soya de 1980 al 2017, como lo presentamos a continuación. En su forma original, tiene un comportamiento no estacionario.

Gráfico 3.9 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya (Sus/Tn), 2017.



Fuente: Elaboración con datos en base a Datos de Precios de Exportación.

Del correlograma se consideran los valores de Autocorrelación Parcial para los términos de AR y los valores Autocorrelación para los términos MA, los que sobrepasen el ancho de banda del correlograma, serán utilizados para el modelo econométrico. De lo anterior obtenemos 3 término para AR y 2 términos para MA, un total de 6 posibles combinaciones, lo que implica analizar 63 modelos²⁵.

Existe una restricción en el cual no es posible analizar los 63 modelos y compararlos de forma automatizada, motivo por el cual desarrollamos un software en visual basic donde permite generar sin problemas los modelos. El resumen lo presentamos a continuación que pasaron los siguientes test:

1. Existencia de todos los coeficientes
2. Coeficientes significativos, probabilidad de 0.05
3. El menor valor estadístico de Akaike.

²⁵ #Comb. = $2^{\text{Total Combinaciones}} - 1 = 2^6 - 1 = 63$

El modelo seleccionado de precios de grano de soya exportación es un modelo ARIMA (1,1,3) sus coeficientes son significativos, no existe presencia de autocorrelación en sus residuos,

$$\Delta p_{1t} = -0.4347 \cdot \Delta p_{1t-5}$$

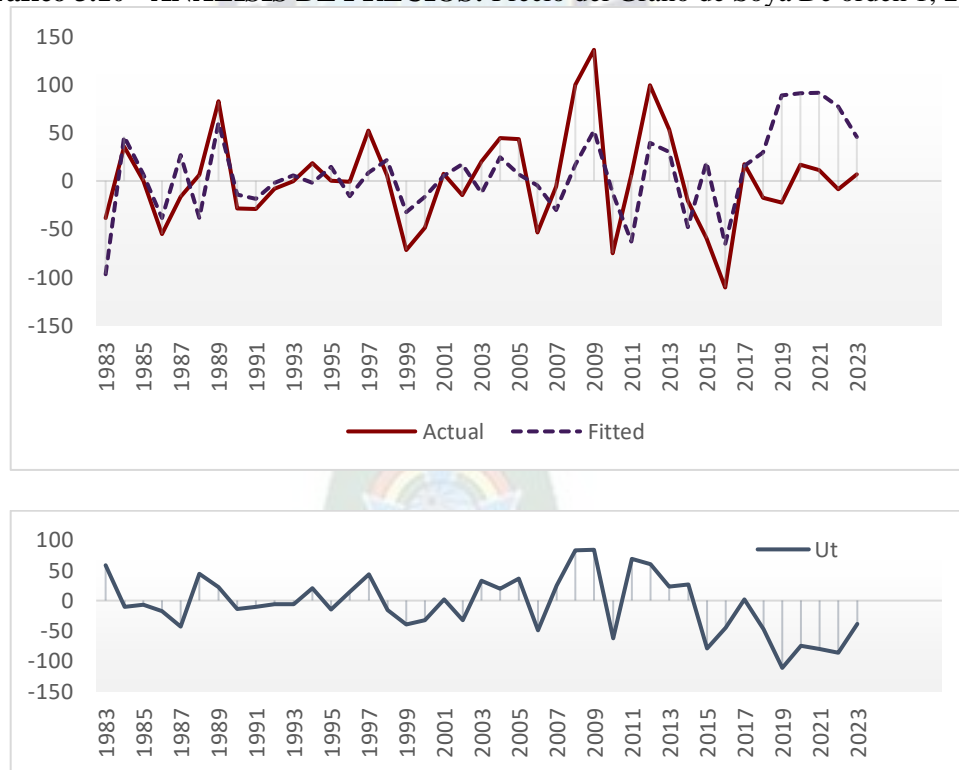
$$t = (-7.972571)$$

$$ee = (0.0097)$$

$$dw = 2.1314$$

Graficando sus residuos y la regresión del modelo integrado de orden 1:

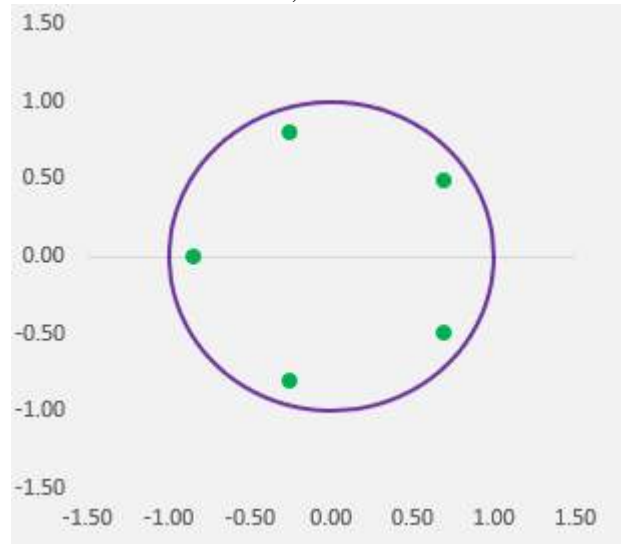
Gráfico 3.10 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Soya De orden 1, 2017.



Fuente: Elaboración con datos en base a la Metodología de Box-Jenkins

La estabilidad del sistema, sus raíces de los polos y veros:

Gráfico 3.11 - ANALISIS DE PRECIOS: Precio del Grano de Exportación de Soya de orden 1, 2017.



Fuente: Elaboración con datos en base Estabilidad del Sistema

Las proyecciones para los futuros años a mediano plazo están dadas por:

$$p_{1t} = 1 \cdot p_{1t-1} - 0.43 \cdot p_{1t-5} - 0.43 \cdot u_{1t-6}$$

Gráfico 3.12 - ANÁLISIS DE PRECIOS: Proyección Precio del Grano de Soya, 2023

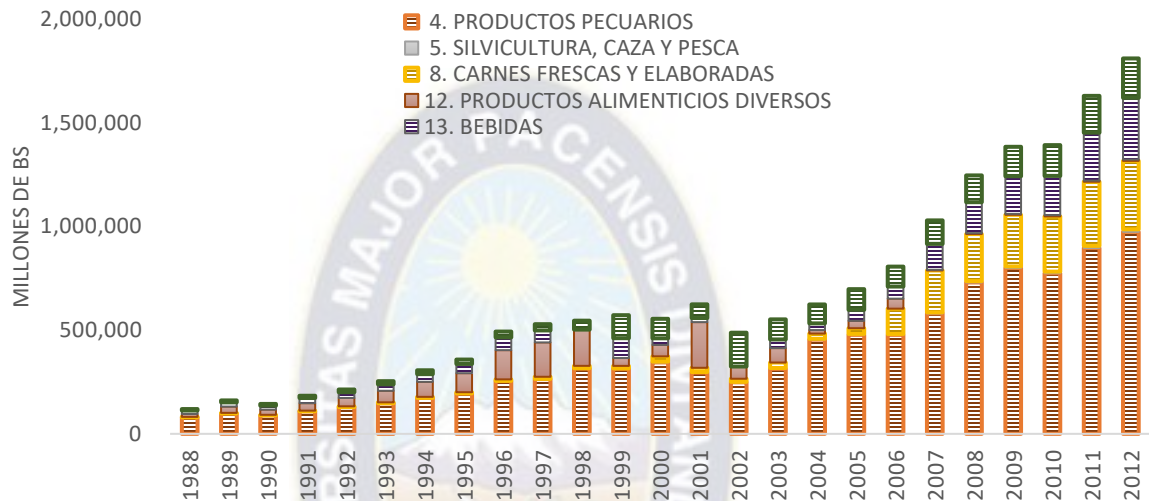


Fuente: Elaboración con datos en base Metodología de Box-Jenkins

3.7.2 FUNCIÓN DE LA DEMANDA

A continuación, mostraremos los seis sectores demandantes de los productos oleaginosos:

Gráfico 3.13 - FUNCIÓN DE DEMANDA: Sectores demandantes de Productos oleaginosos, 2012



Fuente: Elaboración con datos en base a la Matriz Insumo – Producto.

3.7.2.1 ANÁLISIS FUNCIÓN DE DEMANDA

A continuación, veremos un Modelo Multivariado ARMAX, que dependen de sus seis sectores de consumo.

$$y_t = \beta_1 \cdot x_{1t} + \beta_2 \cdot x_{2t} + \beta_3 \cdot x_{3t} + \beta_4 \cdot x_{4t} + \beta_5 \cdot x_{5t} + \beta_6 \cdot x_{6t} + u_t$$

Se realiza como el procedimiento de Metodología Box-Jenkins, con la diferencia que se hace correr tres regresiones. La primera regresión con todas las variables involucradas, posteriormente con las variables no significativas y finalmente con las variables significativas de las dos primeras regresiones se considera el modelo definitivo.

Demanda(oleaginosas)

= f(Prod. Pecuarios, Sicultura, Carnes Frescas, Productos Alimenticios Diversos, Bebidas, Restaurantes y Hoteles)

Generamos la serie de residuos, para realizar el análisis del correlograma y obtener los términos AR y MA

Cuadro 3.4 - PRUEBA DE RAIZ UNITARIA: Modelación ARMAX, 2012

1. AUTOCORRELACIÓN						
DURBIN WATSON	DU	D	4-DU	k	CRITERIO	
SERIE	1.535	1.8610994	2.465	1	NO HAY CORRELACIÓN	
SERIE-DERIVA	1.535	1.8611644	2.465	1	NO HAY CORRELACIÓN	
SERIE-DERIVA-TENDENCIA	1.594	1.8606767	2.406	2	NO HAY CORRELACIÓN	

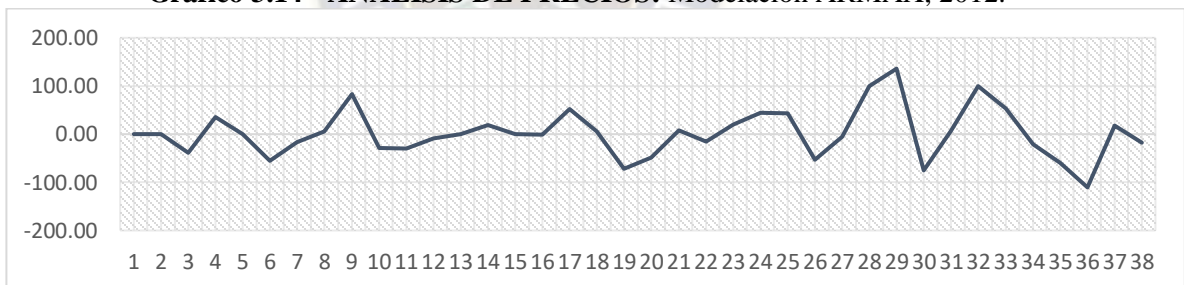
2. PRUEBA SIMPLE DE DICK FULLER						
TAU - DICK FULLER	1%	5%	10%	m	t-student	CRITERIO
SERIE	-2.66	-1.95	-1.61	1	-5.134007	COEF. SIGNIFICATIVO
SERIE-DERIVA	-3.75	-3.00	-2.61	2	-5.068502	COEF. SIGNIFICATIVO
SERIE-DERIVA-TENDENCIA	-4.38	-3.60	-3.21	3	-5.000341	COEF. SIGNIFICATIVO

PRUEBA DE ESTACIONARIDAD- HIPOTESIS:	NO HAY RAIZ UNITARIA
--------------------------------------	----------------------

Fuente: Elaboración con datos en base a Algoritmo Raíz Unitaria

Pero es estacionaria en sus primeras diferencias:

Gráfico 3.14 - ANALISIS DE PRECIOS: Modelación ARMAX, 2012.



Fuente: Elaboración con datos en base a Datos de Precios de Exportación.

El modelo seleccionado de demanda de productos oleaginosos es un modelo ARIMAX (2,1,2,6) sus coeficientes son significativos, no existe presencia de autocorrelación en sus residuos,

$$\Delta e_{1t} = -0.9704 \cdot \Delta e_{1t-2} + 0.9994 \cdot u_{1t-2}$$

$$t = (-34.9955) \quad (18.1904)$$

$$ee = (0.054) \quad (0.027) \quad dw = 2.1736$$

La función de la demanda, por lo tanto, se expresa de la siguiente manera:

$$y_t = 0.2435 \cdot x_{1t} + 0.1539 \cdot x_{2t} + 0.0053 \cdot x_{3t} + 0.008 \cdot x_{4t} + 0.1893 \cdot x_{5t} + 0.013 \cdot x_{6t} + \Delta e_{1t}$$

3.8 CONCLUSIONES

La parametrización utilizando modelos ARIMA y ARMAX de las variables exógenas que serán utilizadas en el sistema de control económico como ser la función de la demanda y de los precios de los diferentes derivados de la soya, se realizó varias iteraciones programadas en Visual Basic (Ver *ANEXO A 5 - RESULTADOS DE SIMULACIÓN: Resultados de la Simulación de Series de Tiempo.*) en el cual cálculo con gran precisión el mejor modelo a utilizar, que comparando con otros paquetes de software de estadísticas como ser el “Eviews” que ofrece resultados muy similares con la diferencia que el programa desarrollado puede realizar el cálculo para n modelos y no una por una como están diseñadas los otros programas, lo que permite optimizar la representación matemática.

Luego de un estudio profundo y una descripción exhaustiva de los procesos de extracción por solventes, el proceso utiliza equipamientos para el manejo de grandes volúmenes de grano (promedio de molienda nacional por planta 2.500 ton/día).

Cabe mencionar que los principales obstáculos que enfrentan los productores de soya para implementar la extracción mediante solvente son los montos de inversión de capital, el tonelaje de materia prima básica requerida y la capacitación técnica que se necesita para evitar accidentes, en virtud de que se trata de un proceso que requiere ser operado bajo estrictas normas de seguridad, por tales motivos las plantas de extracción por solventes pertenecen en su gran mayoría a empresas de capitales multinacionales.

Para la presenta investigación, se tomo como referencia a la empresa Gravelal Bolivia S.A. ya que es una empresa significativa respecto al mercado soyero, tanto como sus capacidades y volúmenes de producción de harina y aceite fueron parametrizados en el simulador, donde se calculó la eficiencia de extracción de aceite ronda el 65% y se

destinan el 93% de la producción de harina y un 95% de la de aceite a la exportación, los volúmenes de producción son 341.552,15 Tn/Año de Harina de Soya y 152.430,25 Tn/Año de Aceite Crudo de Soya. A lo largo de este trabajo queda en evidencia que hay una gran eficiencia de producción a favor de las plantas de solventes.

A pesar de que existen métodos que ofrecen resultados de mayor precisión, como el método de mínimos cuadrados, se ha demostrado que, a través de procedimientos relativamente sencillos, se puede diseñar un experimento utilizando herramientas “open source” para la identificación de sistemas mediante el análisis de la respuesta transitoria de la planta y con resultados que representan una aproximación bastante cercana a lo observado de forma experimental.



4 CAPÍTULO – FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, analizaremos un sistema de control económico lineal, mediante la función de transferencia que es una expresión matemática cociente de la salida sobre la entrada en el dominio s considerando cero a las condiciones iniciales; para sistemas lineales e invariantes en el tiempo, contiene información sobre las características de un sistema $G(s)$, expresado como una función racional que vincula un numerador (el cual contiene los ceros del sistema) y un denominador (el cual incluye los polos del sistema). La función de transferencia o función respuesta impulso, que tiene como fin un análisis macroeconómico y la dinámica del sistema, siendo nuestro objetivo el análisis de estabilidad y el cálculo de tiempos de asentamiento.

Los sistemas de control en la actualidad son parte fundamental en el impulso de nuevas tecnologías, ya que permiten la automatización de procesos y el desarrollo de sistemas inteligentes. El primer requisito para diseñar e implementar sistemas de control, es conocer la dinámica de planta que se desea controlar, esto implica, establecer el modelo matemático que la represente adecuadamente. En el caso del control clásico, la función de transferencia es la representación matemática que describe el modelo del sistema y que permite establecer su valor de salida ante una determinada entrada o perturbación al mismo. A través de la función de transferencia se puede determinar la estabilidad, los errores presentes ante perturbaciones externas y los parámetros que se desean corregir. Sin embargo, no siempre es posible establecer la función de transferencia a menos que se conozcan a priori los parámetros físicos de la planta que se pretende controlar

La obtención de modelos es específica para cada caso, y en el particular en este reporte, se discuten los resultados al modelar un sistema de control económico. Al revisar la literatura referente al tema, se encuentran diferentes soluciones, tal como el trabajo presentado por (Mahalanabis, Introducción a la Ingeniería de Sistemas, 1987), en el cual se considera la analogía de la respuesta impulso de un sistema lineal con la función de

probabilidad. En otros casos se utiliza el método de mínimos cuadrados recursivo para la identificación de parámetros.

En este trabajo lo que se propuso, fue obtener la F.T. que describa el comportamiento dinámico del sector oleaginoso, cuando este ha sido excitado con una señal escalón. Se observó de manera gráfica su respuesta en velocidad y a partir del análisis experimental se determinaron los parámetros que definen su respuesta transitoria. Posteriormente se construyó la función de transferencia correspondiente, en este caso, la equivalente a un sistema de segundo orden sobreamortiguado, el cual queda descrito también como un sistema de primer orden con retardo. Finalmente, el modelo hallado se replicó mediante simulación por computadora, se ajustaron los parámetros pertinentes y se validó mediante comparación entre los resultados experimentales y lo planteado teóricamente.

La propuesta que aquí se plantea se caracteriza por ser accesible en el diseño experimental así como en la matemática que lo sustenta. Adicionalmente, se integra el uso de herramientas “open-source”, lo que facilita su implementación tanto en lo académico como en el terreno de la investigación. El desarrollo de este artículo se organiza de tal manera que en primer lugar se describe el proceso de identificación de sistemas y los métodos que existen para esta tarea. Después se revisa el concepto de función de transferencia y los diferentes modelos dinámicos que se pueden obtener (sistemas de orden cero, primer orden y segundo orden). A continuación se presenta la implementación experimental del sistema que se va a identificar, describiendo las características de la planta y el desarrollo en visual basic que se utilizará.

Las ventajas de utilizar funciones de transferencia son:

- Es una representación compacta de un sistema lineal como cociente de polinomios en s .
- Permite predecir la forma de las señales sin necesidad de resolver la ecuación diferencial
- Tiene una interpretación inmediata en la frecuencia: $s=j\omega$

- Es una propiedad del sistema: independiente de la magnitud y la naturaleza de la señal de entrada.
- Si se desconoce la ecuación diferencial que describe el sistema, se puede obtener su Función de Transferencia de forma experimental, excitando al sistema con entradas conocidas y estudiando su respuesta.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS

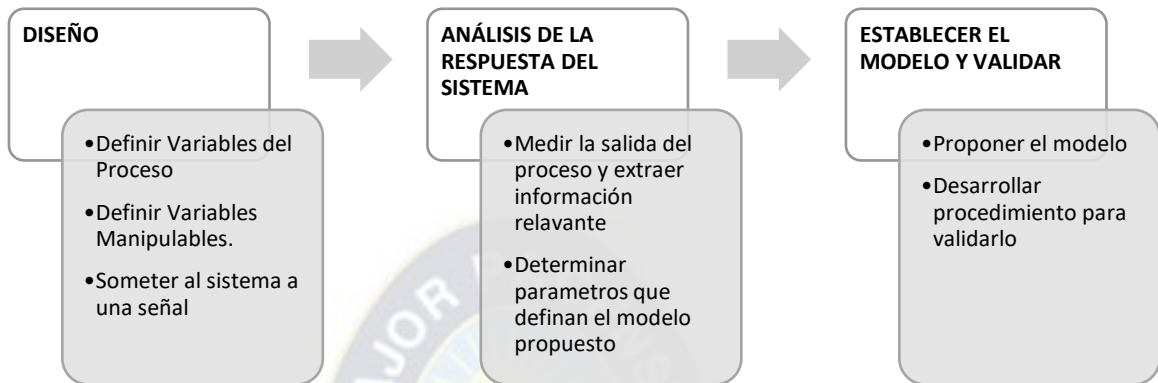
La identificación de sistemas es un procedimiento experimental, que consiste en determinar el modelo dinámico de un sistema a partir de observar y medir la respuesta de este cuando es sometido a señales externas controladas. De acuerdo con el proceso de identificación queda descrito de acuerdo.

El procedimiento de la *Figura 4.1-FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Procedimiento para identificación de modelos de sistema de control* se puede realizar de dos maneras:

1. Modificar de manera controlada la variable de control (en tiempo o frecuencia) y medir la respuesta del sistema.
2. Registrar los datos de entrada y salida cuando el proceso está en operación normal.

Para el caso de modelos lineales, la identificación “offline” es suficiente, ya que se logran modelos válidos. Además, la identificación puede realizarse, ya sea en “lazo abierto” o bien en “lazo cerrado”. Por otra parte, los métodos de identificación también pueden clasificarse en paramétricos y no paramétricos.

Figura 4.1-FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Procedimiento para identificación de modelos de sistema de control



Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Bueno, 2011)

Por otra parte, los métodos de identificación también pueden clasificarse en paramétricos y no paramétricos de acuerdo con *Figura 4.2 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Métodos Identificación de modelos de sistema de control*

Figura 4.2 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Métodos Identificación de modelos de sistema de control



Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Vergara, Salazar, & Zapata, 2017)

Los métodos no paramétricos, son aquellos que no utilizan un parámetro para la construcción de un modelo, por ejemplo, los métodos de análisis de la respuesta transitoria, análisis de la respuesta en frecuencia, análisis de la correlación, análisis espectral, análisis de Fourier, etc.

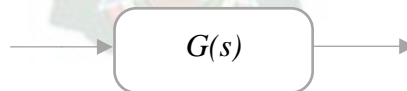
Por otra parte, la identificación paramétrica se basa en la generación de una estructura matemática a partir de la determinación de un parámetro que defina el modelo, establecer criterios de ajuste de los parámetros, y estimar los parámetros que mejor ajustan el modelo a los datos experimentales del sistema o proceso que se quiere modelar.

4.3 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

La función de transferencia, descrita por la ecuación 1 y 2, y representada en la figura 3, consiste en la relación matemática en el dominio de Laplace, que asocia la variable de salida de un sistema con la variable de entrada al mismo.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 \cdot s^m + b_1 \cdot s^{m-1} + \dots \dots \dots + b_{m-1} \cdot s + b_m}{a_0 \cdot s^n + a_1 \cdot s^{n-1} + \dots \dots \dots + a_{n-1} \cdot s + a_n}$$

Figura 4.3 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Esquematización de la Función de Transferencia en Lazo Abierto



Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Vergara, Salazar, & Zapata, 2017)

En toda función de transferencia, las raíces del numerador determinan los “ceros” del sistema, mientras que las raíces del denominador definen los “polos” del sistema, los cuales describen a su vez definen el orden del sistema, y en función del orden, es el tipo de respuesta que se va a presentar.

Cuando se aplica una entrada $R(s)$ a un sistema $G(s)$, como resultado se obtiene una expresión en el dominio s de la salida $Y(s)$ o respuesta del sistema; sin embargo, es necesario saber determinadas características de la respuesta en el dominio tiempo $y(t)$, para lo cual habrá que aplicar la transformada inversa a $Y(s)$ con la finalidad de obtener tal información.

Para un sistema estable, la respuesta $y(t)$ del sistema a una entrada $r(t)$ consta de dos componentes: régimen transitorio (o natural) y régimen de estado estable (o forzado);

La respuesta total del sistema está formada por

$$y(t) = y_{estado\ transitoria}(t) + y_{estado\ estable}(t)$$

Tal que si el sistema es estable, el régimen transitorio se extinguirá cuando $t \rightarrow \infty$ por lo que:

$$y(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = y_{estado\ estable}(t)$$

En donde la forma de onda de $y(\infty)$ es de la misma forma que la entrada $r(t)$, pero no necesariamente de la misma amplitud.

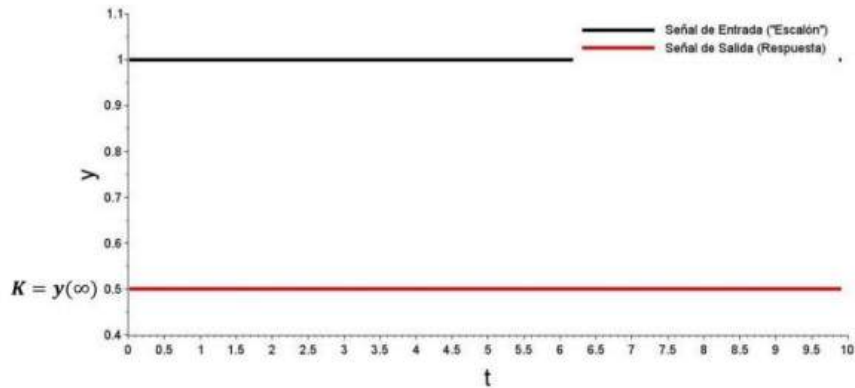
En este punto resulta importante poner énfasis en que de cualquier expresión racional $Y(s)$ es posible proponer la estructura de la respuesta $y(t)$ con base en las raíces del denominador de $Y(s)$, el cual está compuesto por los polos de $G(s)$ y el denominador de la transformada de Laplace de la entrada: escalón ($R(s) = A/s$), rampa ($R(s) = A/s^2$), parábola ($R(s) = 2!A/s^3$), entre otras.

En toda función de transferencia, las raíces del numerador determinan los “ceros” del sistema, mientras que las raíces del denominador definen los “polos” del sistema, los cuales describen a su vez definen el orden del sistema, y en función del orden, es el tipo de respuesta que se va a presentar.

4.3.1 SISTEMAS DE ORDEN CERO

Si al considerar una función escalón como señal de excitación ($R(s) = 1/s$), y la respuesta a la salida es un valor constante para todo tiempo t ,

Gráfico 4.1 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Respuesta de Sistema de Orden cero.

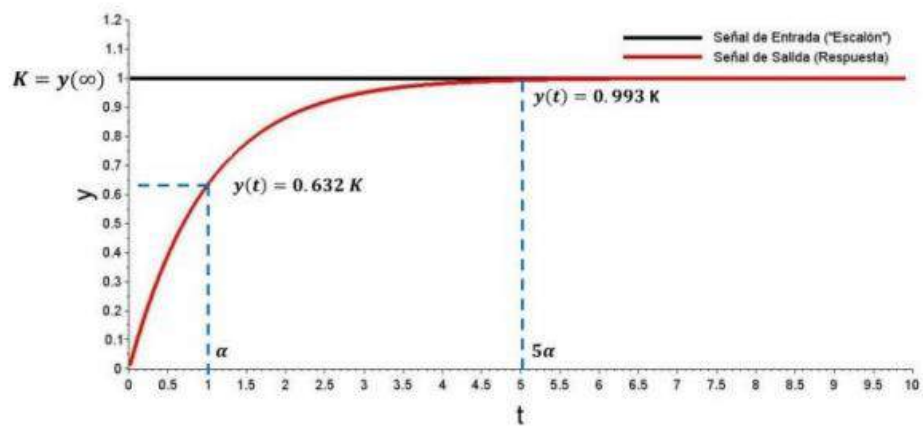


Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Vergara, Salazar, & Zapata, 2017)

4.3.2 SISTEMAS DE PRIMER ORDEN

Por otra parte, si la respuesta a la señal escalón, tiene un comportamiento exponencial

Gráfico 4.2 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Respuesta de Sistema de Primer Orden.



Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Vergara, Salazar, & Zapata, 2017)

Entonces, se deduce que el sistema es de primer orden, y el polinomio de la F.T. es de primer grado en función de “s”, En este caso, la F.T. queda expresada como:

$$G(s) = \frac{K}{\alpha \cdot s + 1}$$

Donde:

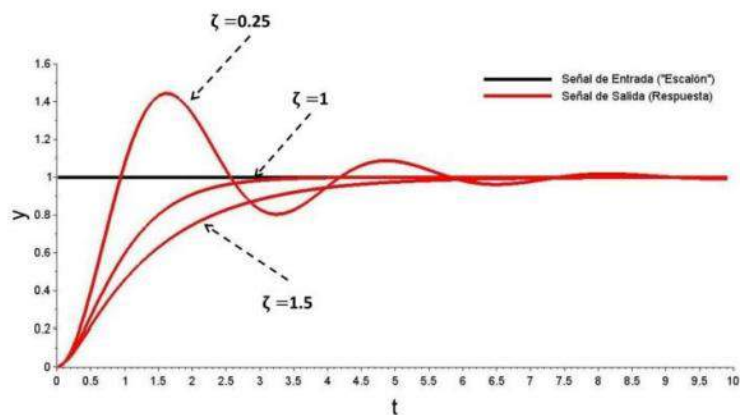
K: Es el valor de la ganancia del sistema y representa el valor de la salida en el tiempo infinito

α : Es la constante de tiempo que determina el tiempo en el se alcanza el % de la ganancia total.

4.3.3 SISTEMAS DE SEGUNDO ORDEN

Si la respuesta del sistema a la función escalón presenta oscilaciones o retardos en su respuesta entonces el sistema puede considerarse de segundo orden y queda determinado por la función de transferencia.

Gráfico 4.3 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Respuesta de Sistema de Segundo Orden



Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Vergara, Salazar, & Zapata, 2017)

La dinámica de este tipo de sistemas, que determinado por dos parámetros: ω_0 que se denomina frecuencia natural del sistema y es la responsable de las oscilaciones en la respuesta, y del parámetro ζ , el cual describe el amortiguamiento de las oscilaciones y

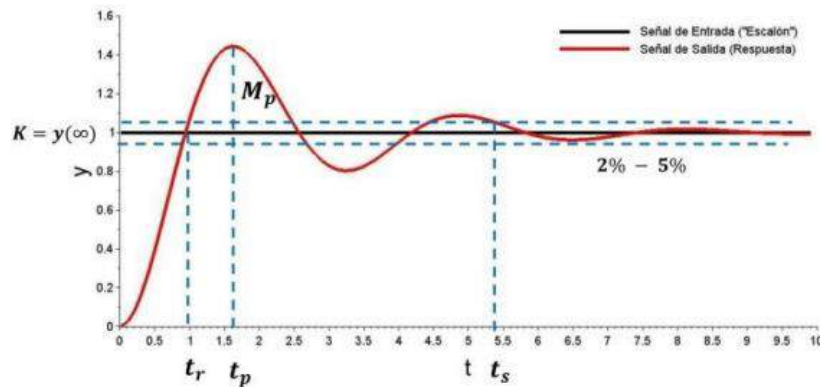
define los polos del sistema, por lo cual, en función del valor que toma este parámetro, se pueden presentar tres posibles casos

$$G(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_0 \cdot s + \omega_0^2}$$

Primer Caso: Sub-Amortiguado ($0 < \zeta < 1$), en esta condición, el sistema presenta polos complejos conjugados, y como característica principal es que el sistema presenta oscilaciones amortiguadas.

En este caso, la respuesta del sistema está caracterizada por diversos parámetros.

Gráfico 4.4 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Caso Sub-Amortiguado ($0 < \zeta < 1$),



Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Vergara, Salazar, & Zapata, 2017)

Donde:

ω_0 : Frecuencia Natural del Sistema

ζ : Factor de Amortiguamiento

ω_0 : Frecuencia natural amortiguado

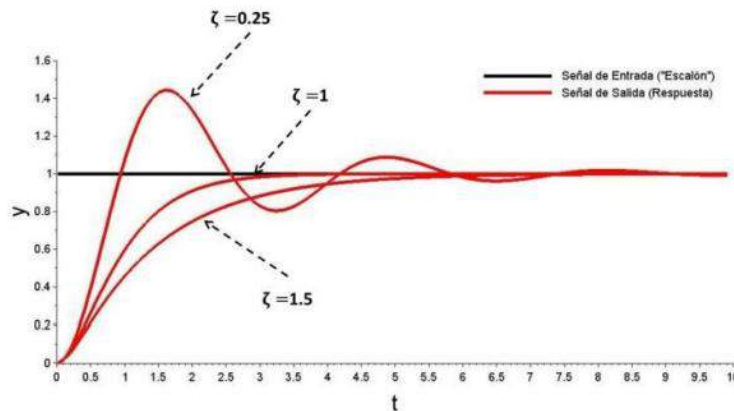
t_r : Tiempo de Levantamiento

t_p : Tiempo de Pico

t_s : Tiempo de Estabilidad

Segundo Caso: Críticamente Amortiguado ($\zeta = 1$) este caso es muy específico ya que exige que el valor del amortiguamiento sea exactamente la unidad, condición muy complicada de lograr en condiciones experimentales. En este caso, el sistema presenta dos polos reales e iguales, por lo tanto, deja de oscilar y domina el término exponencial.

Gráfico 4.5 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA: Caso Críticamente Amortiguado ($\zeta = 1$)



Fuente: Elaboración con datos en base a Metodología (Vergara, Salazar, & Zapata, 2017)

Tercer Caso: Sobre-Amortiguado ($\zeta > 1$). Se presenta cuando las raíces del polinomio son reales diferentes, por lo que el sistema presenta una respuesta que crece exponencialmente con el tiempo hasta alcanzar el valor deseado.

Este tipo de solución, puede también aproximarse como un sistema de primer orden con retardo (τ), en el que al inicio la respuesta del sistema prácticamente no cambia, y a partir de (τ) la respuesta crece exponencialmente hasta lograr el 98% del valor final, como ocurre en los sistemas de primer orden, por lo cual, su F.T. puede estar descrita como un sistema de primer orden con retardo.

$$G(s) = \frac{K}{\alpha \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau s}$$

4.4 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

4.4.1 SISTEMAS DISCRETOS

Un sistema discreto (Figura 1.1) es un algoritmo que permite transformar una secuencia de entrada $\{U_k\}$ en otra secuencia de salida $\{Y_k\}$.

Las características de los sistemas son:

- Un sistema discreto es estático cuando el elemento de la secuencia de salida de un cierto índice depende únicamente del elemento de la secuencia de entrada del mismo índice.
- Un sistema discreto es dinámico cuando el elemento de la secuencia de salida de un cierto índice es función de elementos de las secuencias de entrada y salida de índices distintos al suyo.
- Un sistema discreto dinámico es causal si el valor de un elemento de la secuencia de salida depende únicamente de los de ésta de índice menor y de los de la secuencia de entrada de índice menor o igual.
- Si la función que define cada elemento de la secuencia de salida es lineal, el sistema se denomina asimismo lineal:

$$y_k = a_1 y_{k-1} + a_2 y_{k-2} + \dots + a_n y_{k-n} + b_0 u_k + b_1 u_{k-1} + \dots + b_m u_{k-m}$$

- Si los coeficientes a_i , b_i de la ecuación previa son independientes del tiempo, se dice que el sistema lineal es invariante. La ecuación usada para estudiar estos sistemas se denomina **ECUACIÓN EN DIFERENCIAS**.

4.4.2 ESTABILIDAD DE UN SISTEMA DISCRETO

Un sistema discreto es estable si ante cualquier secuencia de entrada acotada la secuencia de salida es también acotada. Para que el sistema sea estable es necesario y suficiente que la secuencia de ponderación sea absolutamente sumable:

4.4.3 TRANSFORMADA DE FOURIER DE UNA SECUENCIA

La transformada de Fourier de una secuencia temporizada $\{x_k\}$ se define como:

$$\mathcal{X}(\omega) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=-n}^n x_k e^{-j\omega kT} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_k e^{-j\omega kT}$$

donde T representa la diferencia de tiempos para cada elemento de la secuencia temporizada. La transformada inversa de Fourier se define como:

$$x_k = \frac{T}{2\pi} \int_{-\pi/T}^{\pi/T} \mathcal{X}(\omega) e^{j\omega kT} d\omega$$

4.4.4 TRANSFORMADA DE LAPLACE DE UNA SECUENCIA

La transformada de Laplace de una secuencia $\{X_k\}$ tal que $X_k = 0$ para $k < 0$ se define como:

$$\mathcal{X}(s) = \sum_{k=0}^{\infty} x_k e^{-skT}$$

siendo $s = a + j\omega$ una variable compleja. Para que la transformada de Laplace converja (condición suficiente) debe cumplir (depende de σ):

$$\sum_{k=0}^{\infty} |x_k e^{-\sigma kT}| < \infty$$

Esta expresión se denomina condición de convergencia absoluta y depende de a . Igualmente, se denomina abscisa de convergencia absoluta, (al ínfimo de los valores que satisfacen la anterior condición de convergencia). El dominio de convergencia absoluta es el semi plano complejo definido por los puntos con parte real mayor que a (La convergencia de la transformada de Laplace está asegurada en su dominio de convergencia absoluta, pero puede converger en un dominio más amplio. La transformada de Laplace de una secuencia es una función periódica respecto a la parte imaginaria de período:

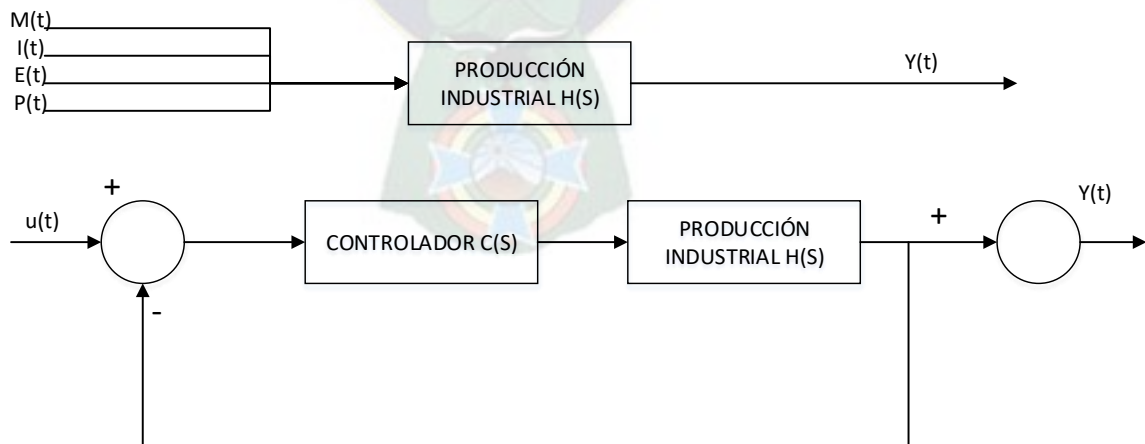
4.5 MODELACIÓN DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

La producción real del sistema macroeconómico medido en unidades monetarias (bolivianos) depende de la cantidad en el periodo t de las importaciones (**M**), inversiones (**I**), exportaciones (**E**), demanda intersectorial y consumo final (**P**), dada por la siguiente ecuación:

$$Y(t) = -M(t) + I(t) + E(t) + P(t)$$

Lo que necesitamos es diseñar primeramente el comportamiento real, es decir, con cualquier cambio en las entradas al sistema en tiempo $t=0$ las señales de salida que es la producción real de la economía en el periodo $t=0$. A partir del análisis del comportamiento real de nuestra ecuación presentada anteriormente, elaboramos el subsistema del Controlador, donde se analizará el tiempo de rezago que tiene cada incidencia de cada variable (Importaciones, Inversión, Exportación y Demanda Intersectorial), un punto básico de variación, toma su tiempo de respuesta en la producción del periodo t_n por tal motivo se presenta la siguiente *Figura 4.4 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA, Esquema de un sistema Económico* :

Figura 4.4 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA, Esquema de un sistema Económico



Fuente: Elaboración con datos en base a (Mahalanabis, Introducción a la Ingeniería de Sistemas, 1987)

La atracción de nuevas reinversiones identifica dos subsistemas interconectados de forma compleja, que permitirá analizar la función de transferencia, aplicación matemática para ejecutar tal estrategia.

Pero cada una de sus entradas tiene una señal y un comportamiento independiente de lo demás, pero como se verá más adelante es un sistema en el cual presenta 35 productos y sectores en el cual interactúan de manera constante, expresado en la matriz de insumo-producto.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{Y(d)} = \frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Deseada}}$$

A continuación, mostraremos la selección de variables y la modelación de un sistema de control económico. Lo que tenemos que destacar una alternativa de caracterizar a los sistemas lineales es a través de su respuesta impulso, los criterios de estabilidad se hacen vitales para el análisis.

4.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN REAL. -

El apoyo cuantitativo que ofrece la herramienta de Matriz Insumo Producto (MIP), desarrollado por el economista Leontief que permite representar la información económica y detallar la malla productiva identificando sectores estratégicos y estudiar las interdependencias industriales que se dan en el aparato productivo, con estas relaciones intersectoriales permite obtener un conjunto de proporciones, coeficientes tecnológicos de producción, la hipótesis es cada bien absorbe una proporción fija de cada uno de los insumos independientemente de la escala de producción.

La aplicación de este método conduce a la construcción de los modelos económicos y para interpretar el funcionamiento de la interdependencia productiva y compatible con los componentes del Sistema de Cuentas Nacionales (SCN) *“El sistema de cuentas nacionales es un modelo de descripción cuantitativa de un sistema económico. Entre las primeras está el hecho de ofrecer un conjunto de técnicas estadísticas y de métodos contables para representar el fenómeno económico”*, (Leon & Marconi, 1990). El SCN

ofrece la facilidad de representar en esencia cuatro identidades, en las que citaremos a continuación:

La primera es la identidad del ingreso, según Keynes es igual al valor de los nuevos bienes y servicios creados en el periodo, es igual a la producción final que desemboca en el mercado, conocido como el PIB.

$$Y = C + G + I + (X - M)$$

Donde:

Yi = Producto Interno Bruto

M = Importaciones

C = Consumo Privado

G = Gasto

I = Inversiones

X = Exportaciones

La segunda identidad define el ahorro como parte no consumida del ingreso disponible.

$$S = Yd - C$$

Donde:

S = Ahorro

Yd = Ingreso Disponible

C = Consumo

La tercera identidad pone en evidencia la igualdad que según Keynes garantiza el equilibrio macroeconómico, ahorro es igual a la inversión, pero sin embargo el ahorro también pudo haberse destinado a inversión de activos financieros o las adquisiciones

netas de pasivos, esto está representado por la diferencia de ambos que como resultado se obtiene los préstamos netos.

$$I = S \pm PN$$

Donde:

I = Inversión

S = Ahorro

PN = Préstamos Netos

Y finalmente las cuentas del resto del mundo muestra el estado de superávit o déficit que el exterior mantiene con el país.

$$RM = X - M$$

Donde:

RM = Cuenta Resto Mundo

X = Exportación

M = Importación

Esta MIP publicada por el INE se divide en 4 partes las submatrices localizadas a la izquierda y derecha representa la matriz de oferta, que se subdivide en importación, derechos arancelarios, impuestos al valor agregado y márgenes de comercialización, y demanda, que se subdivide en consumo privado, consumo público, inversiones y exportaciones, la matriz de transacciones domésticas²⁶ figura la producción interna de los productos que se disponen de la economía nacional.

²⁶ La matriz de transacciones *totales* no hace distinción sobre el origen nacional e importado de bienes y servicios y la matriz de transacciones *domesticas* separa la producción nacional de las importaciones. Ver (Flores, 1993)

Con la matriz de transacciones domésticas, se obtiene los coeficientes tecnológicos son la relación de los insumos demandadas por cada sector productivo, es decir por cada unidad producida se requieren n unidades de insumos, desde el punto de vista de la demanda pero también puede verse desde el punto de vista de la oferta que relaciona la oferta de cada sector productivo con los compradores de la misma, dicha matriz

Las relaciones intersectoriales derivadas de la MIP ya sea desde el punto de vista de oferta y demanda permiten detectar las conexiones complejas entre los distintos sectores productivos nacionales a través de sus respectivas de demanda y oferta de insumos intermedios. Dichas relaciones son complejas pues cada sector se vincula con el conjunto del sistema de dos maneras: una directa y otra indirecta. La cadena productiva de la economía puede afectarse si un sector aumenta o disminuye su producción por cambios en su demanda, lo hace de manera directa a sus proveedores y de manera indirecta a la producción de otros sectores que deben satisfacer la nueva cantidad de producción.

La MIP boliviana ha sido elaborada con un enfoque “producto – actividad económica” según (Instituto Nacional de Estadística, 2000), ordenado en sentido horizontal los productos y en sentido vertical las actividades económicas. La MIP tiene 35 productos más una fila que representa las compras directas de otros bienes y servicios adquiridos por los agentes residentes en el exterior y de 35 actividades económicas más una ficticia que representa el servicio bancario imputado.

Las características de la MIP es que es su sistema es consistente²⁷ y no singular, el rango de la matriz de los coeficientes tecnológicos de oferta y demanda es 25 y el número de variables son de 35 por lo que el sistema tiene infinitas soluciones.

La matriz de Leontief relaciona la producción de cada sector con la demanda final neta de importaciones para cuantificar la producción directa e indirecta tomando como variable

²⁷ Para que un sistema sea consistente es necesario y suficiente que el rango de la matriz de los coeficientes sea igual al rango de la matriz aumentada. (Espinoza Ramos, 2002)

exógena al consumo final, la inversa de los coeficientes por series geométricas²⁸ mide los efectos directos e indirectos sobre el proceso de producción. Los coeficientes tecnológicos, la demanda final neta de importaciones y la matriz de Leontief desagregados son presentados en el cuadro B.2 (Anexo B).

$$VBP = (1 - A)^{-1} \cdot DF$$

Cuadro 4.1 - BOLIVIA: Cálculo de Efectos Directos e Indirectos, 2012

SECTORES	EFECTO DIRECTO	EFECTO INDIRECTO	PRODUCCIÓN
AGRICOLA	8.925.257	17.749.100	26.674.358
EXTRACCIÓN DE MINAS Y GAS	51.982.810	15.269.655	67.252.465
IND. MANUFACT,	32.123.970	35.560.390	67.684.360
ELECTRICIDAD	3.931.470	1.555.175	5.486.645
CONSTRUCCIÓN	13.870.711	178.024	14.048.736
COMERCIO	21.942.732	0	21.942.732
TRANSPORTE	20.905.548	7.828.016	28.733.564
ESTAB. FINANCIEROS	17.118.405	4.700.369	21.818.774
SERVICIOS COMUNALES	8.409.535	1.998.779	10.408.314
RESTAURANTES	8.552.903	508.725	9.061.628
ADMINI. PUBLICA	28.898.151	0	28.898.151
COMPRAS DIRECTAS DE OTROS BB	0	0	0
TOTAL	216.661.492	85.348.234	302.009.726

Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

El modelo desarrollado por Leontief puede ser representado en un modelo de programación lineal (MPL), donde se desea obtener a fin de cada gestión el mayor VBP sujeta a la demanda de sus consumidores finales teniendo en cuenta que su producción también depende de otros sectores, a continuación, mostramos el esquema:

$$Max(VBP) = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + \dots + X_{35}$$

S.A.

$$X_1 - a_{11} \cdot X_1 - a_{12} \cdot X_2 - a_{13} \cdot X_3 - a_{14} \cdot X_4 - \dots - a_{135} \cdot X_{35} = D_1$$

$$X_2 - a_{21} \cdot X_1 - a_{22} \cdot X_2 - a_{23} \cdot X_3 - a_{24} \cdot X_4 - \dots - a_{235} \cdot X_{35} = D_2$$

$$X_3 - a_{31} \cdot X_1 - a_{32} \cdot X_2 - a_{33} \cdot X_3 - a_{34} \cdot X_4 - \dots - a_{335} \cdot X_{35} = D_3$$

²⁸ $(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots + A^n = \sum A^k$. Véase (REDIMA - Reunión de trabajo sobre Modelización, Matrices de Insumo-Producto y Armonización Fiscal, 2005)

...

$$X_{35} - a_{35\ 1} \cdot X_1 - a_{35\ 2} \cdot X_2 - a_{35\ 3} \cdot X_3 - a_{35\ 4} \cdot X_4 - \dots - a_{35\ 35} \cdot X_{35} = D_{35}$$

Donde las variables de decisión son:

x_j = Valor de la producción del producto j. (Miles de Bolivianos)

Y los coeficientes tecnológicos:

a_{ij} = Cantidad de insumos que requiere el sector i para producir una unidad del producto j.

Las restricciones del modelo son activas u obligatorias, los resultados del MPL muestran el valor bruto producción por cada sector, los datos corresponden a la gestión 2012, el valor de la producción de los productos agrícolas industriales fue de 6.399 (millones de bolivianos). A continuación, mostramos el esquema del calculo de matrices para el MPL (Modelo de Programación Lineal).

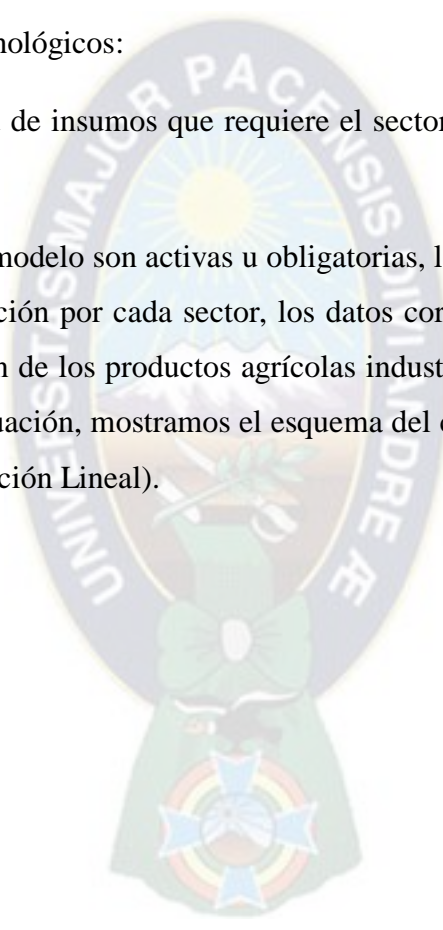
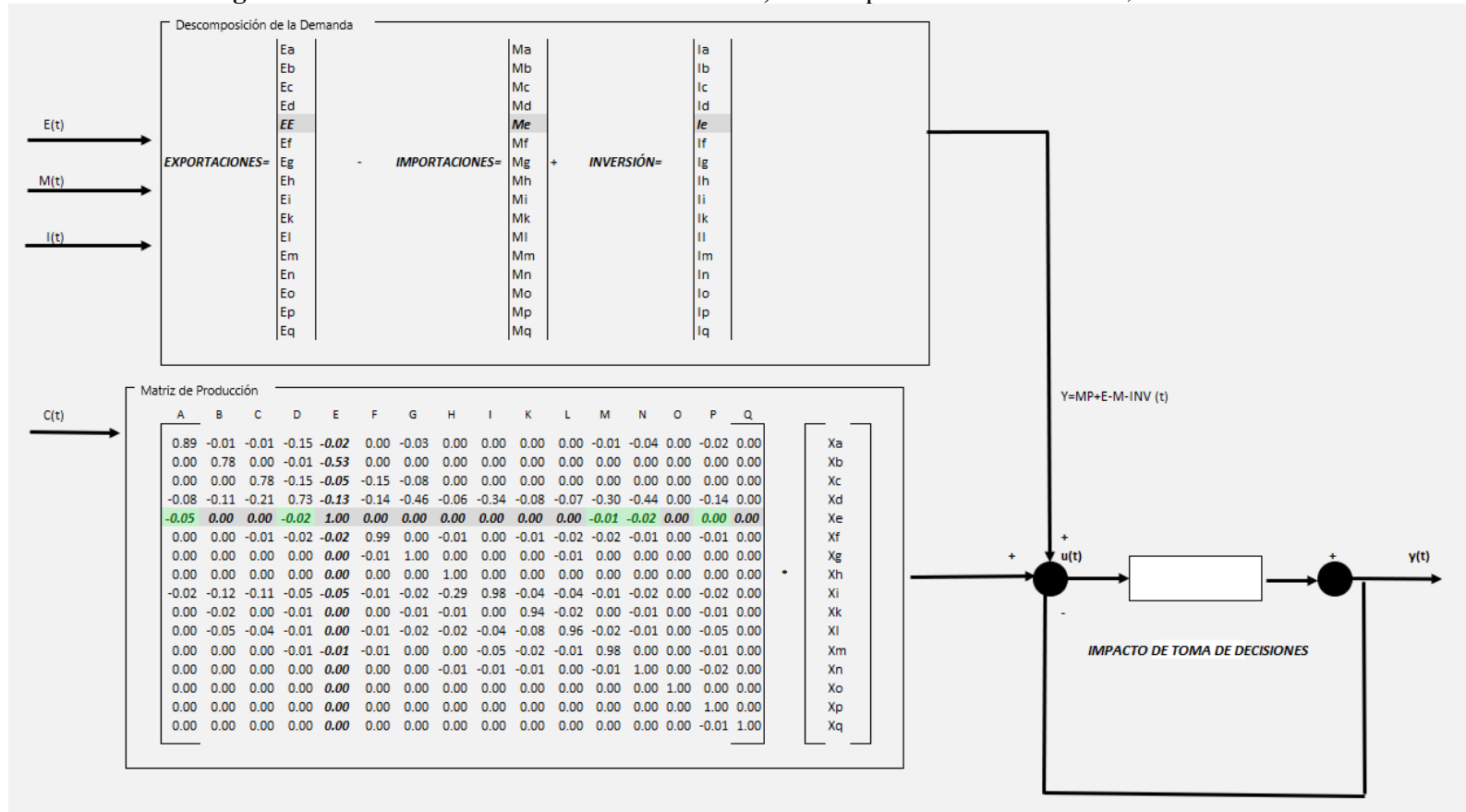


Figura 4.5 – BOLIVIA: Producto Interno Bruto, Descomposición de la Demanda, 1988-2012²⁹



Fuente: Elaboración con datos en base al Diseño de Control VBA, Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Estadística.

²⁹ El año 2012 fue el último año que el INE publicó la Matriz Insumo producto, por lo cual fue el último año al cual se realizaron los cálculos respectivos.

La modelación se encuentran en el *ANEXO B 1 - BOLIVIA: Matriz Insumo – Producto (Expresado en Mil Millones de Bs), 2012* y los resultados en *ANEXO B 3 - RESULTADOS DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL: Cálculo del Producto Interno Bruto, 2012*.

4.7 DISEÑO DEL SUBSISTEMA DEL CONTROLADOR

La función de transferencia es lazo cerrado, por el esquema presentado en *Figura 4.4 - FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA, Esquema de un sistema Económico*, Son aquellos en los que se produce un proceso de re alimentación, es decir que es capaz de modificar la señal de entrada en función de la señal de salida la toma de decisiones no depende solo de la entrada sino también de la salida, como se muestra en el siguiente gráfico:



Fuente: Elaboración con datos en base a un Sistema de Lazo Cerrado.

El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente difícil en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.

Sus características son:

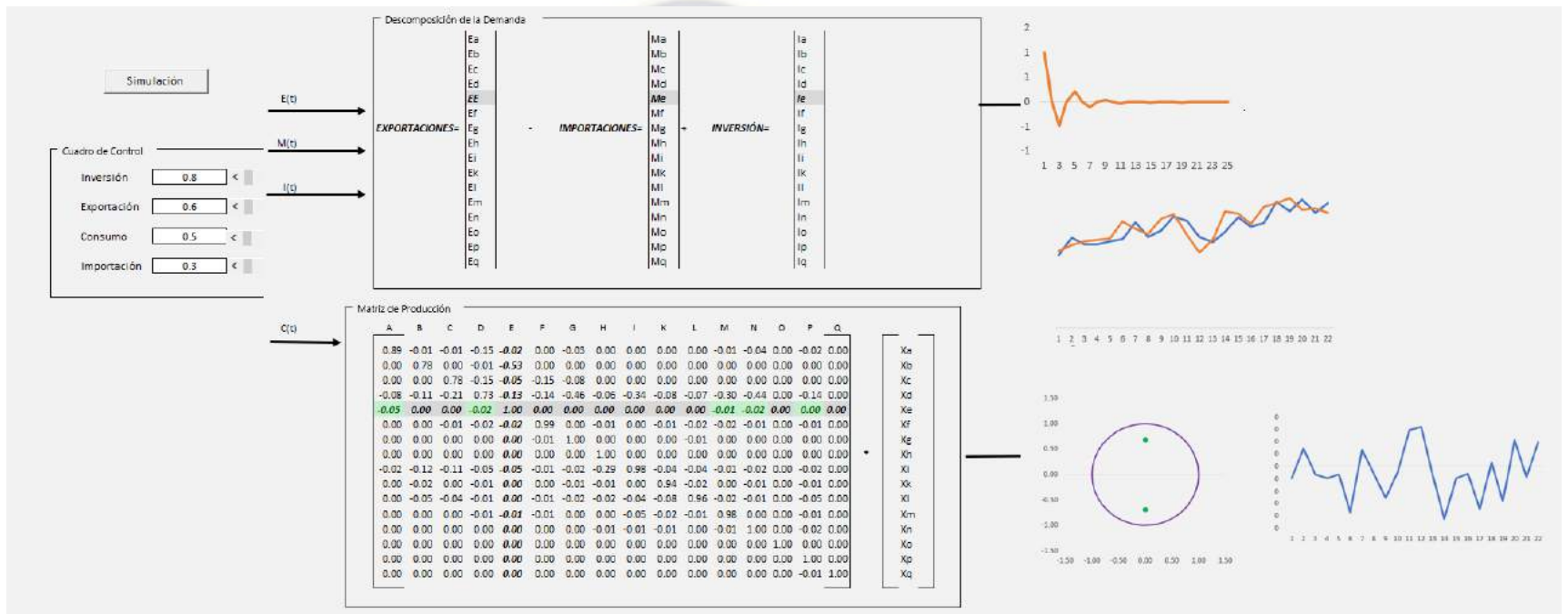
- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.

- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

Para lo cual realizando iteraciones al modelo de insumo producto para calcular el rezago en sus respuestas obtenemos el siguiente resultado. Presentado en el siguiente modelo:



Figura 4.7 - **Lazo Cerrado:** Diseño del Subsistema del Controlador



Fuente: Elaboración con datos en base a un Sistema de Control en VBA,

4.8 FUNCIONES DE IMPULSO RESPUESTA

Las funciones de impulso respuesta dadas por la ecuación, por sectores se obtienen los siguientes resultados. El programa de VBA, **ANEXO B 4 - PROGRAMA DE FUNCIONES DE IMPULSO RESPUESTA VBA**.

A continuación, mostraremos los resultados ante un impulso en la ecuación que se elaboró en el capítulo 2, aplicada a cada sector que utiliza como insumo la producción de harina y aceite de soya.

$$\begin{aligned} P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t) \\ &= P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t-1) - 0.47 \cdot P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t) + 0.47 \cdot P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t) \\ &+ u(t) \end{aligned}$$

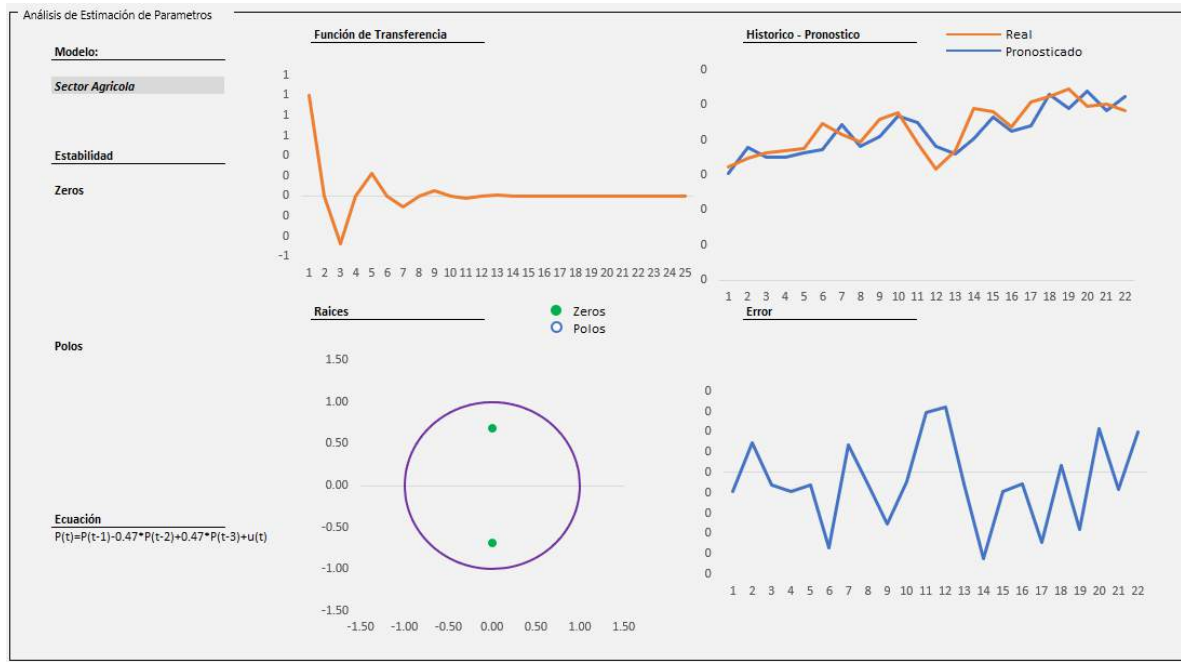
La función de impulso respuesta esta dada por la ecuación:

$$G(s) = \frac{P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t)}{u(t)}$$

$$\begin{aligned} G(s) \\ &= \frac{P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t) - P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t-1) + 0.47 \cdot P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t) - 0.47 \cdot P_{SECTOR\ AGRICOLA}(t)}{u(t)} \end{aligned}$$

Los resultados del programa son los siguiente:

Figura 4.8 - Sector Agrícola: Función de Impulso Respuesta.



Fuente: Elaboración con datos en base al programa de Función de Transferencia.

$$P_{IND.MANUF.}(t) = P_{IND.MANUF.}(t-1) + 0.9 \cdot u(t)$$

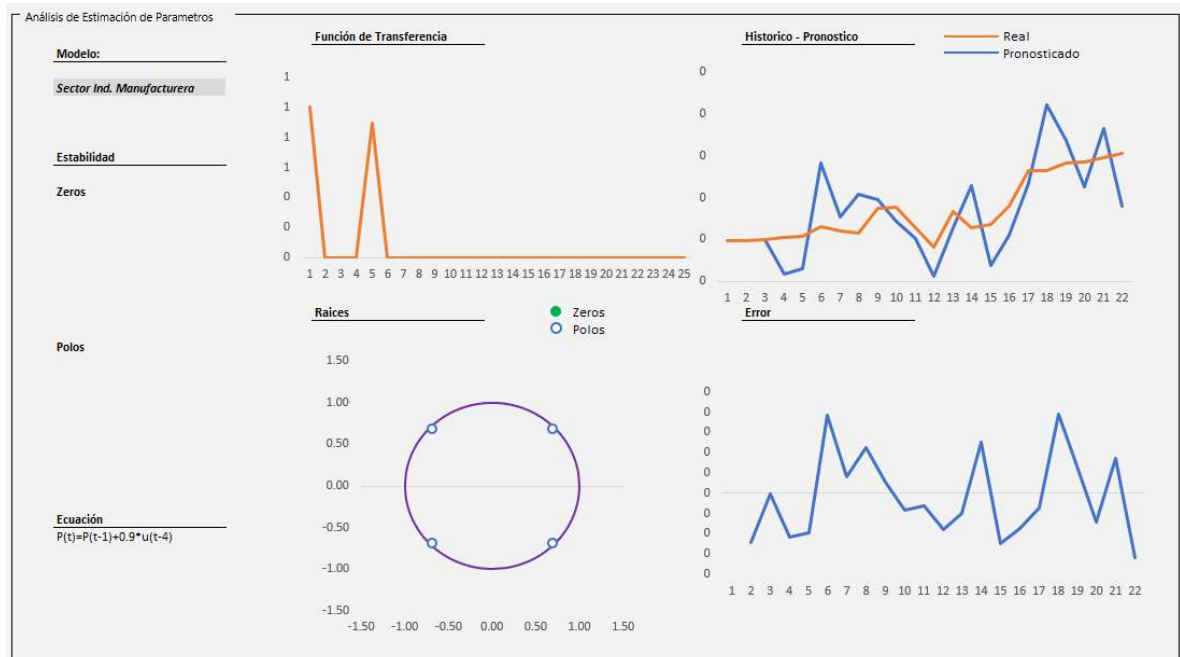
La función de impulso respuesta está dada por la ecuación:

$$G(s) = \frac{P_{IND.MANUF.}(t)}{u(t)}$$

$$G(s) = \frac{P_{IND.MANUF.}(t) - P_{IND.MANUF.}(t-1)}{0.9 \cdot u(t)}$$

Los resultados del programa son los siguiente:

Figura 4.9 - Sector Industria Manufacturera: Función de Impulso Respuesta.



Fuente: Elaboración con datos en base al programa de Función de Transferencia.

$$P_{PROD.ALI.DIV}(t) = P_{PROD.ALI.DIV}(t-1) + 0.26 \cdot u(t-2)$$

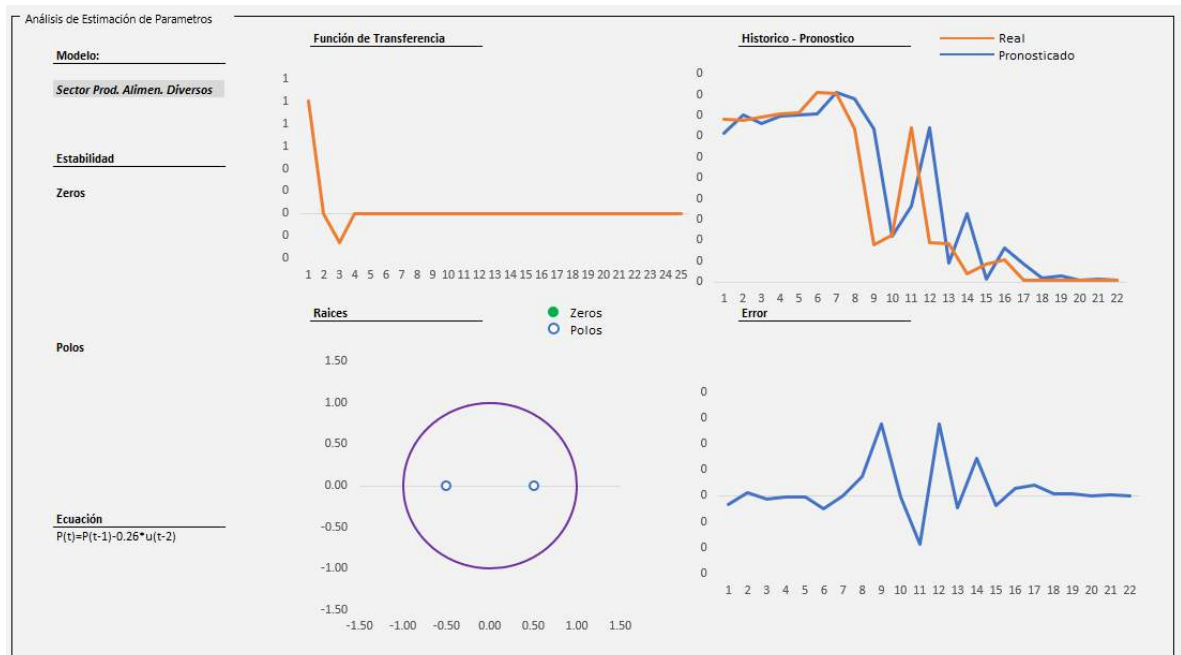
La función de impulso respuesta está dada por la ecuación:

$$G(s) = \frac{P_{PROD.ALI.DIV}(t)}{u(t)}$$

$$G(s) = \frac{P_{PROD.ALI.DIV}(t) - P_{PROD.ALI.DIV}(t-1)}{0.26 \cdot u(t)}$$

Los resultados del programa son los siguiente:

Figura 4.10 - Sector Productos Diversos: Función de Impulso Respuesta.



Fuente: Elaboración con datos en base al programa de Función de Transferencia.

$$P_{REST}(t) = P_{REST}(t-1) - 0.57 \cdot u(t-2)$$

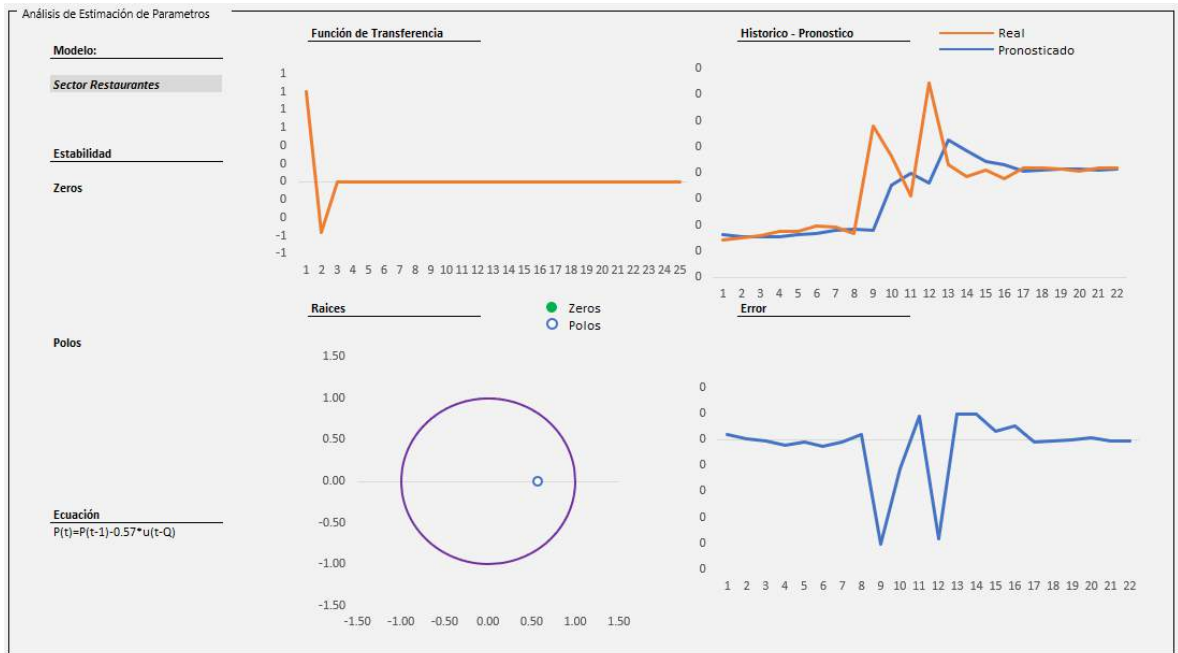
La función de impulso respuesta está dada por la ecuación:

$$G(s) = \frac{P_{REST}(t)}{u(t)}$$

$$G(s) = \frac{P_{REST}(t) - P_{REST}(t-1)}{0.57 \cdot u(t)}$$

Los resultados del programa son los siguiente:

Figura 4.11 - Sector Restaurante: Función de Impulso Respuesta.



Fuente: Elaboración con datos en base al programa de Función de Transferencia.

4.9 RESOLUCIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

La relación de transferencia del sistema se considera lo siguiente. Realizando las operaciones de serie y paralelo se obtiene:

$$G_5(s) = 10 - \frac{21}{10} \cdot s$$

Que en retroalimentación se tiene:

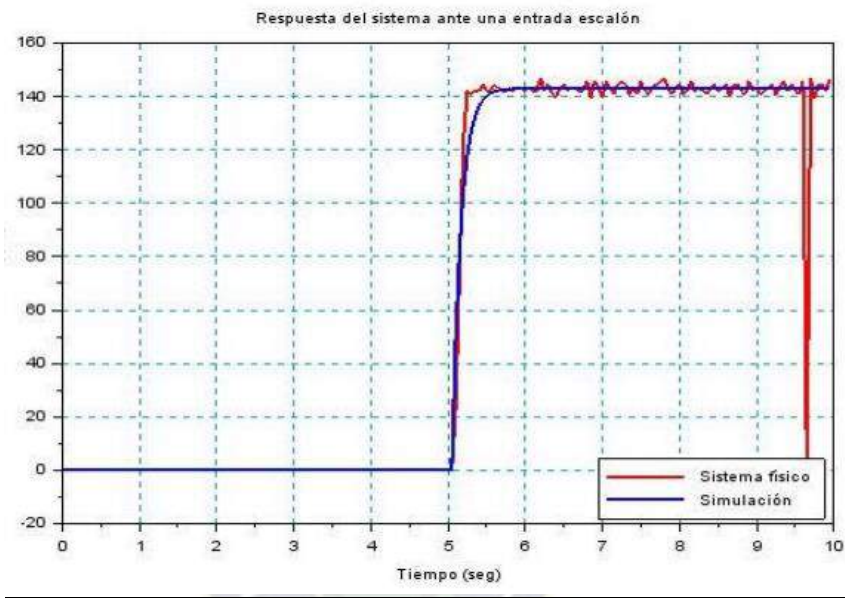
$$G(s) = \frac{3}{\frac{63}{10} \cdot s - 29}$$

La inversa de la Transformada de La Place es:

$$L^{-1}[G(s)] = \frac{10}{21} \cdot e^{\frac{290 \cdot t}{63}}$$

Para validar el modelo propuesto, se construye un nuevo modelo en Xcos donde se compara el modelo real vs la simulación utilizando la función de transferencia. Las curvas de respuesta tanto del sistema real vs el modelo propuesto.

Figura 4.12 – SISTEMA DE CONTROL ECONOMICO: Gráfica de solución de la producción real respecto al Tiempo Requerido



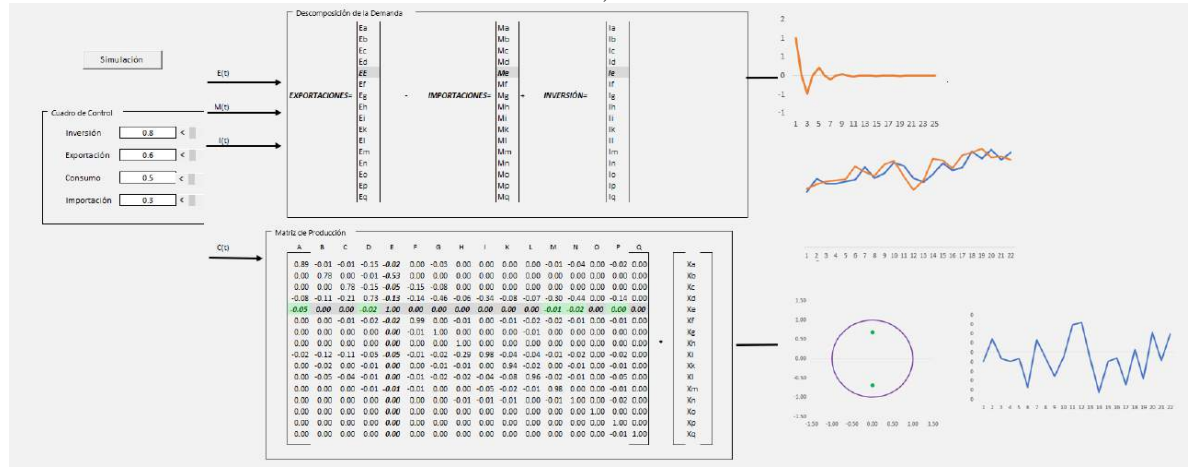
Fuente: Elaboración con base en el Programa Matlab R2010b, Simulink.

Como se puede apreciar del *Figura 4.12 – SISTEMA DE CONTROL ECONOMICO: Gráfica de solución de la producción real* respecto al Tiempo Requerido, las curvas de ambas respuestas son muy similares, por lo que se puede validar el modelo para pruebas.

4.10 APLICACIÓN VISUAL BASIC PARA EXCEL.-

De acuerdo al análisis del comportamiento del sistema está desarrollada en VBA en *ANEXO B 4 - PROGRAMA DE FUNCIONES DE IMPULSO RESPUESTA VBA*, donde nos permite interactuar con el sistema y obtenemos resultados gráficamente en tiempo $t=0$ hasta n periodos dependiendo el análisis que deseamos hacer.

Figura 4.13- COMPLEJO OLEAGINOSO. Aplicación de Escenarios, Evaluación de la Productividad, 2017



Fuente: Elaboración con base en el programa de Microsoft Visual Basic 2007.

4.11 CONCLUSIONES

La metodología utilizada a través de la curva de reacción ha sido suficiente para calcular los parámetros que permiten establecer completamente la función de transferencia y con ello simular la respuesta del sistema ante distintas condiciones y/o perturbaciones externas. Los resultados permiten concluir que el sistema de control económico puede ser descrito y representado por una función de transferencia de primer orden con retardo, la cual presenta respuestas con suficiente aproximación a la respuesta real del sistema.

El programa lo puede ejecutar el analista de economía quien tiene como objetivo evaluar a escala macroeconómica cambiando las variables de: Inversión, Exportación, Consumo e Importación del complejo oleaginoso, clasificada en “Productos de Alimentos Diverso” según las cuentas nacionales (Instituto Nacional de Estadística, 2000), los resultados del modelo es ver el tiempo en el cual el sistema se estabiliza (tiempo de asentamiento).

5 CAPÍTULO – DISEÑO DE MODELO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, analizaremos los factores externos más relevantes que afectan a la industria sojera y lo más importante es cuantificar las decisiones que se tomen. Por lo que antes de ingresar a detallar el modelo de la red neuronal como tal veremos los fundamentos y conceptos básicos de las redes neuronales artificiales (RNA) y tipos de las RNA y finalmente la estructura y operación que se utilizarán para la construcción de la red neuronal.

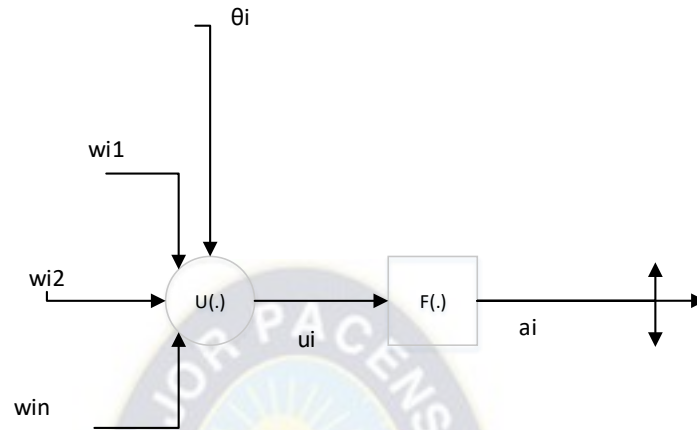
5.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La neurona artificial se encuentra inspirada en la neurona biológica. Es decir, que los investigadores piensan en la organización cerebral al considerar configuraciones y algoritmos de Redes Neuronales.

La neurona se considera un elemento formal, un módulo o unidad básica de la red que recibe la información de otros módulos o del entorno. Es entonces que esa información es integrada, computada y emite una única señal de salida que va a transmitir idéntica a múltiples neuronas posteriores.

Este proceso es a menudo modelizado como una regla de propagación representada por una función $u(\cdot)$. La neurona recoge las señales por su sinapsis sumando todas las influencias excitadoras e inhibidoras. Si las influencias excitadoras positivas dominan, entonces la neurona produce una señal positiva y manda este mensaje a otras neuronas por sus sinapsis de salida. En este sentido, la neurona actúa como una simple función escalón $f(\cdot)$, tal como se muestra en el gráfico a continuación.

Figura 5.1 - Red Neuronal: Esquema del Proceso de Modelación de la RNA



Fuente: Elaboración con datos en base a la Regla de Propagación.

Consideremos los pesos sinápticos como referencia de la noción biológica de la fuerza de unión entre los elementos; es decir, a la fuerza de la sinapsis. Se considera que una sinapsis es fuerte; es decir, tiene un alto grado de conexión, cuando la información que transmite contribuye, en gran medida, a un nuevo estado o a la alteración que se produzca en la neurona receptora y, por tanto, en la respuesta que ésta elabora.

En una red de neuronas existe un peso o fuerza sináptica que se traduce en un valor numérico, el cual pondera las señales que se reciben por sus entradas. Este peso será un valor que determinará la fuerza de conexión entre 2 neuronas. Cuando se evalúa una neurona se debe calcular el conjunto de todas las fuerzas o valores (denominado NET) que se reciben por sus entradas. Una vez calculado el valor conjunto de todas las entradas se aplica una función de activación (FA), que determinará el valor del estado interno de la neurona y será lo que se transmita a su salida.

La combinación de las señales que recibe una neurona se puede calcular como muestra en la siguiente ecuación:

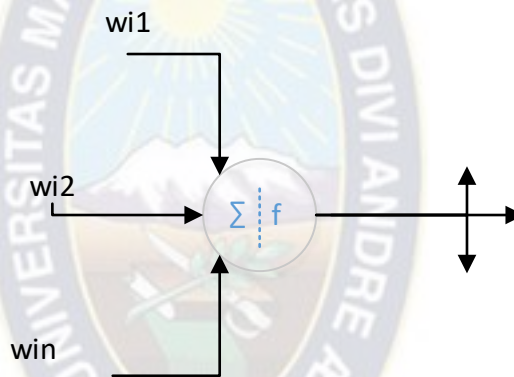
$$Net_i(t) = \sum_{j=1}^{n-1} \omega_{ij} \cdot o_j \cdot (t - 1)$$

Donde

W_{ij} : Representa el peso de la conexión entre una neurona emisora j y neurona receptora i .

El elemento básico de computación (modelo de neurona) se le llama habitualmente nodo o unidad. Recibe un input desde otras unidades o de una fuente externa de datos. Cada input tiene un peso asociado w , que se va modificando en el llamado proceso de aprendizaje. Cada unidad aplica una función dada f de la suma de los inputs ponderadas.

Figura 5.2 - Red Neuronal: Esquema del Proceso de Aprendizaje



Fuente: Elaboración con datos en base a la Regla de Aprendizaje

Las características de las NN juegan un importante papel, por ejemplo, en el procesado de señales e imágenes. Se usan arquitecturas que comprenden elementos de procesado adaptativo paralelo, combinados con estructuras de interconexiones jerárquicas.

Hay dos fases en la modelización con redes neuronales:

- **Fase de entrenamiento:** se usa un conjunto de datos o patrones de entrenamiento para determinar los pesos (parámetros) que definen el modelo de red neuronal. Se calculan de manera iterativa, de acuerdo con los valores de los valores de entrenamiento, con el objeto de minimizar el error cometido entre la salida obtenida por la red neuronal y la salida deseada.

- **Fase de Prueba:** en la fase anterior, el modelo puede que se ajuste demasiado a las particularidades presentes en los patrones de entrenamiento, perdiendo su habilidad de generalizar su aprendizaje a casos nuevos (sobreajuste). Para evitar el problema del sobreajuste, es aconsejable utilizar un segundo grupo de datos diferentes a los de entrenamiento, el grupo de validación, que permita controlar el proceso de aprendizaje.

Debido a su constitución y a sus fundamentos, las redes neuronales artificiales presentan un gran número de características semejantes a las del cerebro. Por ejemplo, son capaces de aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas que representan información irrelevante, etc. Esto hace que ofrezcan numerosas ventajas y que este tipo de tecnología se esté aplicando en múltiples áreas. Entre las ventajas se incluyen:

- *Aprendizaje Adaptativo.* Capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o en una experiencia inicial.
- *Autoorganización.* Una red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información que recibe mediante una etapa de aprendizaje.
- *Tolerancia a fallos.* La destrucción parcial de una red conduce a una degradación de su estructura; sin embargo, algunas capacidades de la red se pueden retener, incluso sufriendo un gran daño.
- *Operación en tiempo real.* Los cómputos neuronales pueden ser realizados en paralelo; para esto se diseñan y fabrican máquinas con hardware especial para obtener esta capacidad.
- *Fácil inserción dentro de la tecnología existente.* Se pueden obtener chips especializados para redes neuronales que mejoran su capacidad en ciertas tareas. Ello facilitará la integración modular en los sistemas existentes.

5.2.1 APRENDIZAJE ADAPTATIVO

La capacidad de aprendizaje adaptativo es una de las características más atractivas de redes neuronales. Esto es, aprenden a llevar a cabo ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos.

Como las redes neuronales pueden aprender a diferenciar patrones mediante ejemplos y entrenamientos, no es necesario elaborar modelos a priori ni necesidad de especificar funciones de distribución de probabilidad.

Las redes neuronales son sistemas dinámicos auto adaptativos. Son adaptables debido a la capacidad de autoajuste de los elementos procesales (neuronas) que componen el sistema. Son dinámicos, pues son capaces de estar constantemente cambiando para adaptarse a las nuevas condiciones.

En el proceso de aprendizaje, los enlaces ponderados de las neuronas se ajustan de manera que se obtengan ciertos resultados específicos. Una red neuronal no necesita un algoritmo para resolver un problema, ya que ella puede generar su propia distribución de pesos en los enlaces mediante el aprendizaje. También existen redes que continúan aprendiendo a lo largo de su vida, después de completado su período de entrenamiento.

La función del diseñador es únicamente la obtención de la arquitectura apropiada. No es problema del diseñador el cómo la red aprenderá a discriminar. Sin embargo, sí es necesario que desarrolle un buen algoritmo de aprendizaje que le proporcione a la red la capacidad de discriminar, mediante un entrenamiento con patrones.

5.2.2 AUTOORGANIZACIÓN.

Las redes neuronales emplean su capacidad de aprendizaje adaptativo para autoorganizar la información que reciben durante el aprendizaje y/o la operación. Mientras que el aprendizaje es la modificación de cada elemento procesal, la autoorganización consiste en la modificación de la red neuronal completa para llevar a cabo un objetivo específico. Cuando las redes neuronales se usan para reconocer ciertas clases de patrones, ellas

autoorganizan la información usada. Por ejemplo, la red llamada backpropagation, creará su propia representación característica, mediante la cual puede reconocer ciertos patrones. Esta autoorganización provoca la generalización: facultad de las redes neuronales de responder apropiadamente cuando se les presentan datos o situaciones a las que no había sido expuesta anteriormente.

El sistema puede generalizar la entrada para obtener una respuesta. Esta característica es muy importante cuando se tiene que solucionar problemas en los cuales la información de entrada no es muy clara; además permite que el sistema dé una solución, incluso cuando la información de entrada está especificada de forma incompleta.

5.2.3 TOLERANCIA A FALLOS.

Las redes neuronales fueron los primeros métodos computacionales con la capacidad inherente de tolerancia a fallos. Comparados con los sistemas 10 computacionales tradicionales, los cuales pierden su funcionalidad cuando sufren un pequeño error de memoria, en las redes neuronales, si se produce un fallo en un número no muy grande de neuronas y aunque el comportamiento del sistema se ve influenciado, no sufre una caída repentina. Hay dos aspectos distintos respecto a la tolerancia a fallos:

- a) Las redes pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados o incompletos. Esta es una tolerancia a fallos respecto a los datos.
- b) Las redes pueden seguir realizando su función (con cierta degradación) aunque se destruya parte de la red. La razón por la que las redes neuronales son tolerantes a los fallos es que tienen su información distribuida en las conexiones entre neuronas, existiendo cierto grado de redundancia en este tipo de almacenamiento.

La mayoría de los ordenadores algorítmicos y sistemas de recuperación de datos almacenan cada pieza de información en un espacio único, localizado y direccionable. En cambio, las redes neuronales almacenan información no localizada. Por lo tanto, la mayoría de las interconexiones entre los nodos de la red tendrán sus valores en función de

los estímulos recibidos, y se generará un patrón de salida que represente la información almacenada.

5.2.4 OPERACIÓN EN TIEMPO REAL

Una de las mayores prioridades, casi en la totalidad de las áreas de aplicación, es la necesidad de realizar procesos con datos de forma muy rápida. Las redes neuronales se adaptan bien a esto debido a su implementación paralela. Para que la mayoría de las redes puedan operar en un entorno de tiempo real, la necesidad de cambio en los pesos de las conexiones o entrenamiento es mínimo.

5.2.5 FÁCIL INSERCIÓN DENTRO DE LA TECNOLOGÍA EXISTENTE

Una red individual puede ser entrenada para desarrollar una única y bien definida tarea (tareas complejas, que hagan múltiples selecciones de patrones, requerirán sistemas de redes interconectadas).

Con las herramientas computacionales existentes (no del tipo PC), una red puede ser rápidamente entrenada, comprobada, verificada y trasladada a una implementación hardware de bajo coste. Por lo tanto, no se presentan dificultades para la inserción de redes neuronales en aplicaciones específicas, por ejemplo de control, dentro de los sistemas existentes. De esta manera, las redes neuronales se pueden utilizar para mejorar sistemas en forma incremental y cada paso puede ser evaluado antes de acometer un desarrollo más amplio.

5.2.6 REDES NEURONALES Y COMPUTADORAS DIGITALES.

Para entender el potencial de la computación neuronal, sería necesario hacer una breve distinción entre sistemas de computación neuronales y digitales: los sistemas neurológicos no aplican principios de circuitos lógicos o digitales. Un sistema de computación digital debe ser síncrono o asíncrono. Si fuera asíncrono, la duración de los impulsos neuronales debería ser variable para mantener uno de los valores binarios por periodos de tiempo indefinido, lo cual no es el caso.

Si el principio fuera síncrono, se necesitaría un reloj global o maestro con el cual los pulsos estén sincronizados. Éste tampoco es el caso. Las neuronas no pueden ser circuitos de umbral lógico, porque hay miles de entradas variables en la mayoría de las neuronas y el umbral es variable con el tiempo, siendo afectado por la estimulación, atenuación, etc. La precisión y estabilidad de tales circuitos no es suficiente para definir ninguna función booleana. Los procesos colectivos que son importantes en computación neuronal no pueden implementarse por computación digital.

Por todo ello, el cerebro debe ser un computador analógico. Ni las neuronas ni las sinapsis son elementos de memoria biestable. Todos los hechos fisiológicos hablan a favor de las acciones de las neuronas como integradores analógicos, y la eficiencia de la sinapsis cambia de forma gradual, lo cual no es característico de sistemas biestables. Los circuitos del cerebro no implementan computación recursiva y por lo tanto no son algorítmicos. Debido a los problemas de estabilidad, los circuitos neuronales no son suficientemente estables para definiciones recursivas de funciones como en computación digital. Un algoritmo, por definición, define una función recursiva.

5.3 CLASIFICACIÓN DE REDES NEURONALES

A continuación, presentamos las distintas redes neuronales que se pueden estructurar a partir de la tarea que se desee y el algoritmo de aprendizaje a utilizar. Las redes neuronales se clasifican comúnmente en términos de sus correspondientes algoritmos o métodos de entrenamiento: redes de pesos fijos, redes no supervisadas, y redes de entrenamiento supervisado. Para las redes de pesos fijos no existe ningún tipo de entrenamiento.

Cuadro 5.1 - Redes Neuronales: Clasificación de Redes Neuronales

PARADIGMA	REGLA DE APRENDIZAJE	ARQUITECTURA	ALGORITMO DE APRENDIZAJE	TAREA
Supervisado	Corrección del error	Perceptrón o Perceptron Multicapa	Algoritmos de aprendizaje perceptron, retropropagación del error, ADALINE y MADALINE	Clasificación de patrones, aproximación de funciones
	Boltzmann	Elman y Jordan recurrentes	Retropropagación del error	Síntesis de series temporales
		Recurrente	Algoritmo de Aprendizaje Boltzmann	Clasificación de patrones
	Competitivo	Competitivo	LVQ	Categorización intra-clase
No Supervisado	Corrección del error	Red de Hopfield	Aprendizaje de memoria asociativa	Memoria Asociativa

		Competitivo	VQ	Categorización compresión de datos
	Competitivo	SOM	Kohonen SOM	Categorización de análisis de datos

Fuente: Elaboración con datos en base a la Clasificación de Redes Neuronales

Las redes neuronales de entrenamiento supervisado son las más populares. Los datos para el entrenamiento están constituidos por varios pares de patrones de entrenamiento de entrada y de salida. El hecho de conocer la salida implica que el entrenamiento se beneficia de la supervisión de un maestro.

Para los modelos de entrenamiento no supervisado, el conjunto de datos de entrenamiento consiste sólo en los patrones de entrada. Por lo tanto, la red es entrenada sin el beneficio de un maestro. La red aprende a adaptarse basada en las experiencias recogidas de los patrones de entrenamiento anteriores.

5.4 SELECCIÓN DE RED NEURONAL

Para la presente investigación utilizaremos un entrenamiento supervisado, ya que tenemos bien identificado los patrones de entrada y salida. Es un modelo unidireccional compuesto por dos capas de neuronas, una de entrada y otra de salida. La operación en un perceptrón simple que consta de n neuronas de entrada y m neuronas de salida

Las neuronas de entrada son discretas y la función de activación de las neuronas de la capa de salida es de tipo escalón. El perceptrón simple puede utilizarse como clasificador, radicando su importancia histórica en su carácter de dispositivo entrenable, ya que el algoritmo de aprendizaje del modelo que permite determinar automáticamente los pesos sinápticos que clasifican un conjunto de patrones a partir de un conjunto de ejemplos etiquetados.

Si denotamos por x_1 y x_2 a las dos neuronas de entrada, la operación efectuada por el perceptrón simple consiste en:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{si } w_1x_1 + w_2x_2 \geq \theta \\ 0 & \text{si } w_1x_1 + w_2x_2 < \theta \end{cases}$$

Si consideramos x_1 y x_2 situadas sobre los ejes de abscisas y ordenadas respectivamente, la condición

$$w_1x_1 + w_2x_2 - \theta = 0$$

Es equivalente a

$$x_2 = -\frac{w_1}{w_2}x_1 + \frac{\theta}{w_2}$$

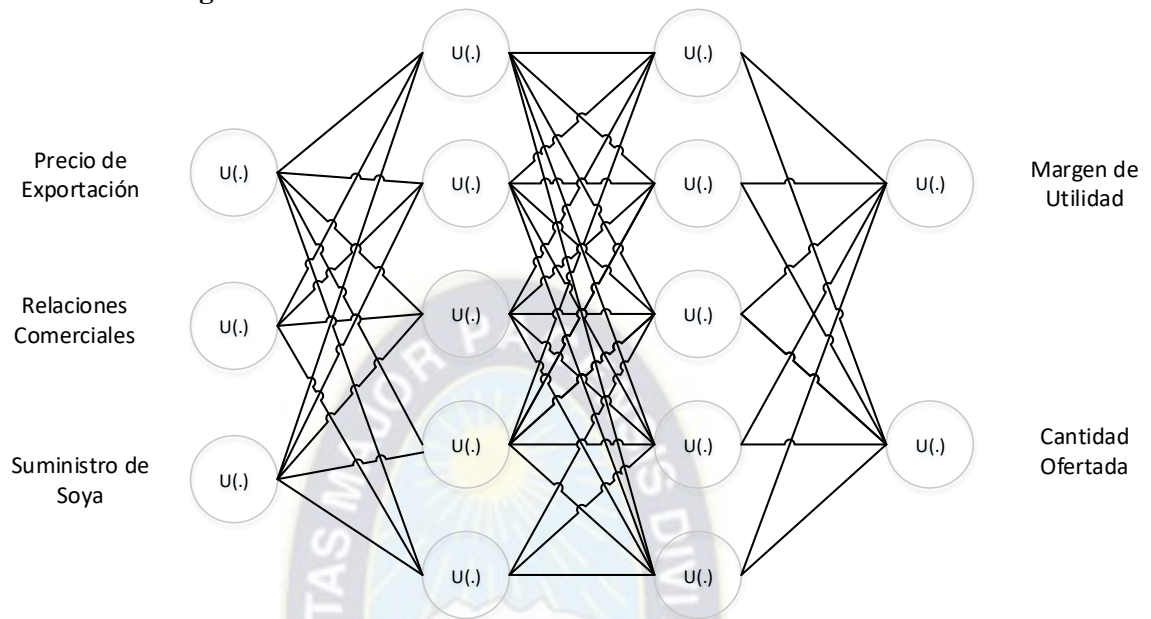
Y representa una recta que define la región de decisión determinada por el perceptrón simple. Es por ello que dicho perceptrón simple representa un discriminador lineal, al implementar una condición lineal que separa dos regiones en el espacio que representan dos clases diferentes de patrones. Por tanto, el perceptrón simple presenta grandes limitaciones, ya que tan solo es capaz de representar funciones linealmente separables. Basándose en este hecho, las limitaciones del perceptrón simple, como consecuencia del cual muchos de los recursos que se venían dedicando a las redes neuronales se desviaron a otros campos de la inteligencia artificial.

El algoritmo de aprendizaje del perceptrón simple pertenece al grupo de los algoritmos que se fundamentan en la corrección de errores. Los algoritmos de este tipo ajustan los pesos de manera proporcional a la diferencia existente entre la salida actual de la red neuronal y la salida deseada, con el objetivo de minimizar el error actual de la red.

5.5 DISEÑO DE LA RED NEURONAL

Este es un modelo neuronal autorregresivo no lineal, basado en una única serie de datos que funciona como input y output. Éste modelo predice los valores de la serie utilizando únicamente las observaciones pasadas de dicha serie a pronosticar. Esta propuesta de modelo se considera una de las mejores para analizar y predecir información de series de tiempo y ya se encuentra incluida dentro del módulo de redes neuronales de MATLAB, expresamente para este tipo de análisis de series temporales. La arquitectura general se presenta a continuación:

Figura 5.3 – Red Neuronal: Diseño de la estructura red neuronal



Fuente: Elaboración con datos en base a Esquema de la Empresa de Soya

Es un tipo de perceptrón multicapa, en donde una vez teniendo la serie a utilizar se definen los rezagos, el número de capas ocultas y la función de entrenamiento. La sintaxis en MATLAB para este efecto es:

narnet(inputDelays; hiddenSizes; trainFcn).

Este tipo de red es de tres capas, dos ocultas y una de salida. La función de entrenamiento que utiliza es

fitrainlmfi,

Que es la función de retropropagación de Levenberg-Marquardt y su sintaxis en MATLAB es:

Trainingfunction(default = Otrainlm0).

Esto nos regresa una red neuronal NAR.

El término retropropagación se refiere a la forma en que el gradiente de la función de transferencia es calculado para redes neuronales feedforward. El entrenamiento de la red

involucra un ajuste de los pesos comparando la salida deseada con la respuesta de la red, de manera que se minimice el error.

La función que usualmente se utiliza para medir el error es la suma de los errores al cuadrado (SSE) o su promedio (MSE).

La función de transferencia utilizada en la capa oculta de este tipo de red es la sigmoideal, pues al ser un modelo no lineal, ésta debe ser estrictamente monótona, acotada y diferenciable, requisitos que cubre la función sigmoideal.

Para el caso de la capa de salida, la función de transferencia es lineal, la cual produce tanto su entrada como su salida.

Como el valor de la salida durante el entrenamiento se encuentra disponible para este tipo de red, se puede utilizar una arquitectura de bucle abierto, en donde el verdadero valor de la salida sea utilizado en lugar de retroalimentar la salida estimada. Las dos ventajas que ofrece esto son que, en primer lugar, la entrada a la red de alimentación directa (feedforward) es más precisa, y en segundo lugar que la red resultante tiene una arquitectura completamente feedforward, y por lo tanto un algoritmo más eficaz puede ser utilizado para su entrenamiento.

En Redes Neuronales Artificiales los modelos se obtienen por prueba y error. Esto implica que no hay un procedimiento específico para conseguir la mejor red, se parte de una red inicial, y probando diversas arquitecturas, es que puede obtenerse una red neuronal que cumpla las expectativas del modelador.

Los elementos manipulables para la modelación son principalmente la definición de rezagos y de neuronas ocultas. Se podrían definir los pesos de conexión entre las neuronas; pero al depender de la interconexión entre ellas, esto se puede volver muy complejo y dada la capacidad de aprendizaje de las redes, es mejor dejar que los pesos de conexión se calculen por sí mismos.

Dentro del proceso de la construcción de una red debe dividirse la información de entrada y salida en base al número de observaciones, para determinar qué porción de la misma se utiliza para entrenar, validar y probar la red. Por default, el módulo deja fijo el 70% de la información para entrenamiento y el 30% restante puede uno definir cómo se va a repartir entre validación y comprobación.

Una vez entrenada, validada y comprobada la red, se analizan los resultados. Si el resultado no fue adecuado, siempre se puede reentrenar o modificar su arquitectura (cambiar rezagos y/o número de neuronas, así como el porcentaje de división de datos para entrenamiento) para obtener un mejor resultado.

5.6 CONSTRUCCIÓN DE LA RED NEURONAL

En este capítulo se muestra la forma en que se construyeron las RNA utilizando el módulo de redes neuronales de MATLAB para los modelos NAR y NARX de margen de utilidad de la empresa sojera y la cantidad demandada, ante cambios en los precios de harina y aceite de soya, relaciones comerciales y el suministro de soya que está en función del rendimiento del cultivo de la soya por temporadas.

Aunque el módulo de redes neuronales de MATLAB cuenta con una interfaz sencilla de operar, al final se utilizó las líneas de comandos con unas rutinas que se muestran en para poder realizar la predicción de varios periodos.

5.7 ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL

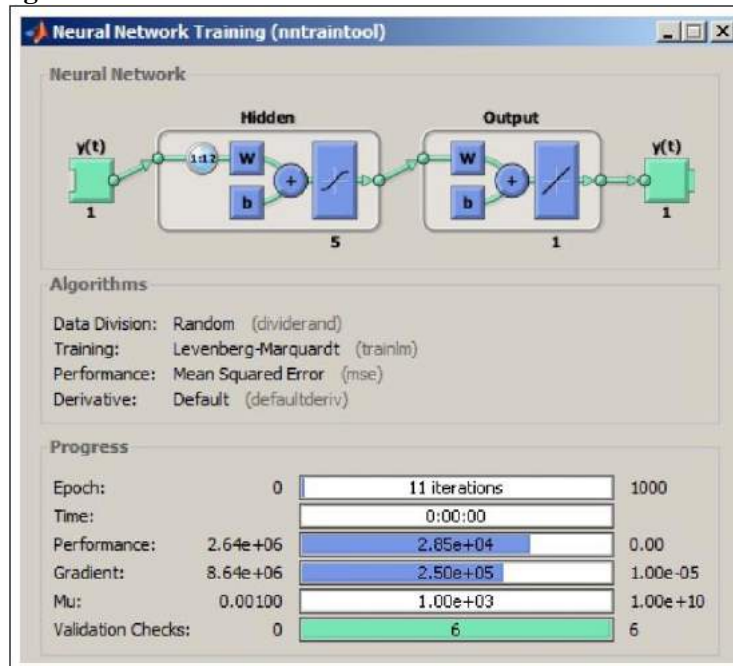
En esta sección se realizaron varios modelos NAR probando diferentes arquitecturas con probando de 1 a 4 capas ocultas, y de 4 a 15 neuronas. Consideré 12 rezagos debido a que la frecuencia de la información es mensual. Existe una propuesta informal para definir una aproximación a un adecuado número de neuronas que es la suma de la cantidad de variables dependientes e independientes más una. Sin embargo, en este caso probé varias.

Cada una de las redes creadas se reentrenaron varias veces, para ver si se lograba obtener una con mejores resultados. Para poder descartar más rápidamente los modelos menos

eficientes, tanto en NAR como en NARX, puse en Excel dos tablas como las que a continuación se muestran:

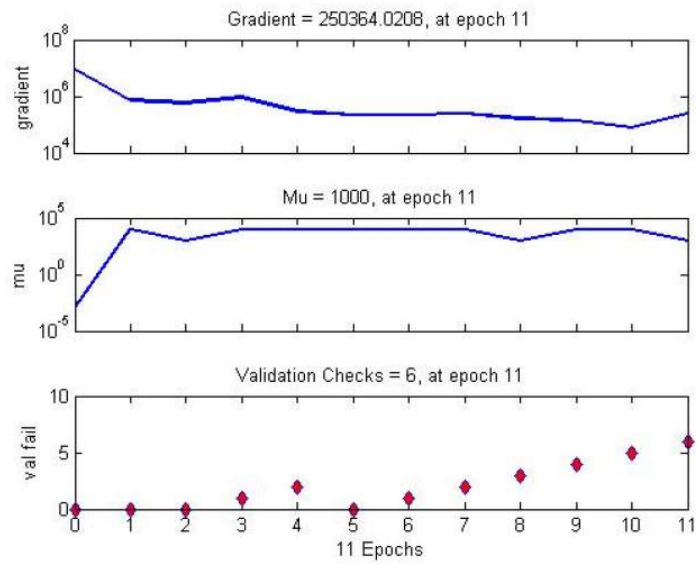
Se presenta el seleccionado debido a que se corrieron alrededor de 100 modelos obteniendo a veces mejores, a veces peores, y descartando los peores.

Figura 5.4 - Red Neuronal: Entrenamiento de la Red Neuronal,



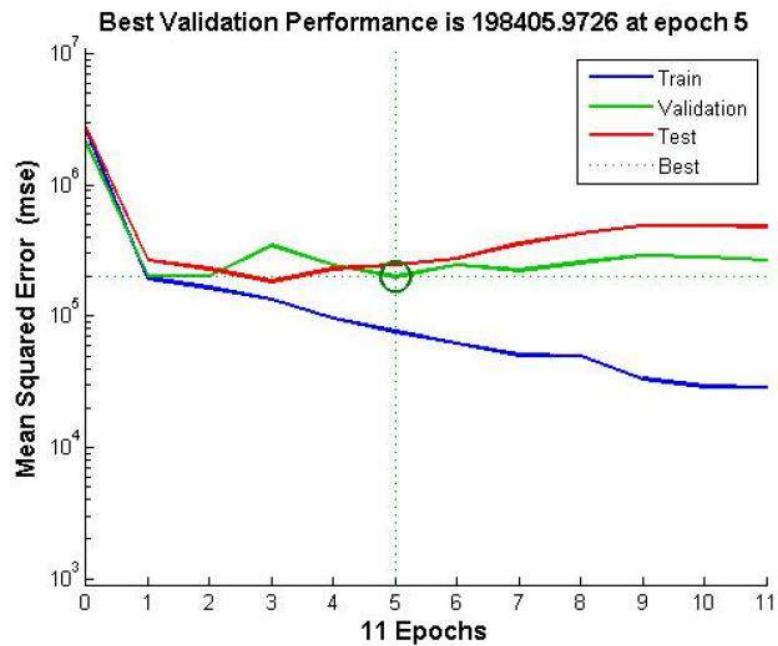
Fuente: Elaboración con datos en base Diseño de la Red Neuronal de la empresa Soyera
A continuación, mostraremos los resultados del entrenamiento de la red neuronal minimizando los errores después de 11 iteraciones

Figura 5.5 - Red Neuronal: Gráfico del Estado del entrenamiento,



Fuente: Elaboración con datos en base al entrenamiento de la Red

Figura 5.6 -Red Neuronal: Gráfico de Aprendizaje



Fuente: Elaboración con datos en base al entrenamiento de la Red

5.8 APLICACIÓN VISUAL BASIC

Se desarrolló también otra plataforma paralela en VBA descrita en ANEXO C 2 - PROGRAMA DE REDES NEURONALES VBA donde ante un cambio en el rendimiento del cultivo de soya, acuerdos comerciales que puedan aumentar la cantidad ofertada y finalmente los precios.

La red neuronal tomo como datos históricos a la empresa de Gravel Bolivia S.A. por la disponibilidad de información que se tiene de sus estados financieros mostrados a continuación, los datos recabados van desde junio 2016 a diciembre de 2018 tiene el siguiente comportamiento.

Cuadro 5.2 – Gravel Bolivia S.A.: Estados financieros auditados, 2016 - 2018

Gestión	Ventas (Bs)		Costos (Bs)		Margen Operativo (Bs)	
	Aceite	Harina	Aceite	Harina	Aceite	Harina
30/6/2016	582,827,883.3	838,523,986.81	515,113,245.87	868,865,112.82	67,714,637.44	-30,341,126.01
31/12/2016	270,332,905.6	432,802,491.68	239,795,579.27	373,620,824.89	30,537,326.42	59,181,666.79
30/6/2017	486,400,875.3	637,663,114.47	441,860,016.76	565,226,464.33	44,540,858.57	72,436,650.14
31/12/2017	209,074,624.9	345,414,559.41	202,813,251.76	334,497,517.94	6,261,373.23	10,917,041.47
30/6/2018	334,067,515.8	571,423,471.33	322,919,239.41	551,042,017.63	11,148,276.48	20,381,453.70
31/12/2018	193,900,772.0	277,899,121.00	220,512,109.00	328,855,392.00	-26,611,337.00	-50,956,271.00

Fuente: Elaboración con datos en base Estados Financieros Auditados.

Los factores externos diseñados en la red (relaciones comerciales, rendimiento del cultivo de la soya o por cambios en la demanda), tiene un efecto directo en las empresas de producción de soya razón por la cual al relacionar efectos externos y estados financieros de la empresa nos dio como resultado una aproximación a sus tomas de decisiones y analizar su optimo margen en cada gestión. Para tal fin presentamos los resultados de la red neuronal para el cálculo de su margen operativo ante variaciones externos, la información procesada va desde 1988 hasta el 2018, información que sirvió para entrenar la red neuronal y tener una aproximación certera ante cambios externos.

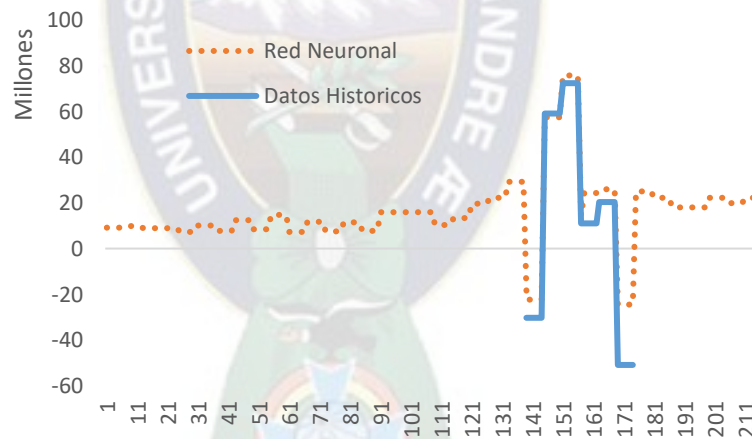
Cuadro 5.3 - Redes Neuronales: Estimación de Resultados

Gestión	Precio Harina (Bs/Tn)	Precio Aceite (Bs/Tn)	Rendimiento (Tn/Hcta)	Margen Operativo (Bs)
30/6/2016	4.898,63	2,949.66	1.10	-38,693,210.23
31/12/2016	3,919.62	2,704.70	1.54	85,369,215.39
30/6/2017	3,822.29	2,670.66	1.94	112,369,681.23
31/12/2017	3,913.28	2,630.08	1.87	19,368,357.95
30/6/2018	3,937.01	2,638.20	1.96	33,698,632.23
31/12/2018	3,047.53	2,674.16	2.32	-24,836,984.00

Fuente: Elaboración con datos en base al Programa de Redes Neuronales.

Se puede apreciar la diferencia que se tiene en la precisión del cálculo del margen operativo en el cuadro a continuación, donde se quiere recalcar que con la aproximación a su margen operativo de sus estados de resultados es posible deducir en función de factores externos años anteriores, como se muestra en el siguiente gráfico:

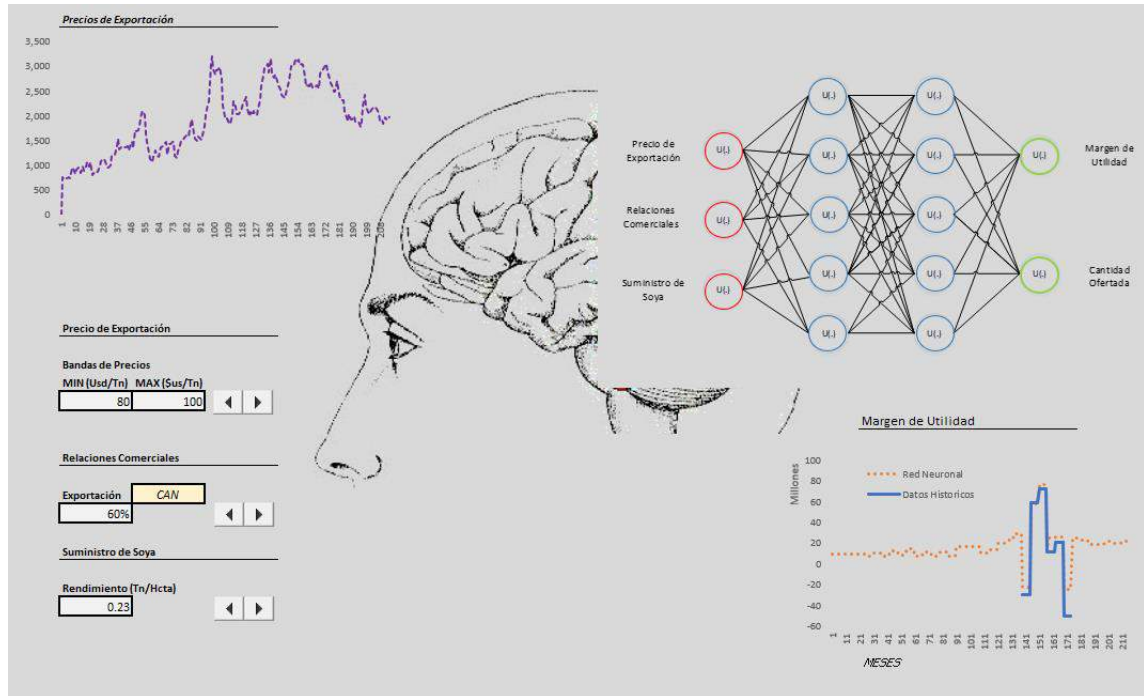
Figura 5.7 – Gravetal Bolivia S.A.: Estimación de Resultados en función de Factores Externos RNA, 1988-2015



Fuente: Elaboración con datos en base al Resultado del Modelo de Programación RNA.

A continuación, mostraremos el gráfico del manejo del software desarrollado en VBA la red neuronal, afectando solo factores externos:

Figura 5.8 – Red Neuronal: Estimación de Resultados en función de Factores Externos, 1988-2015



Fuente: Elaboración con datos en base al Resultado del Modelo de Programación RNA.

5.9 VALIDACIÓN DE HIPOTESIS

De acuerdo al estudio realizado con redes neuronales y utilizando como fuente de entrada al análisis de la macroeconomía e ingeniería de control para su diseño, en ambos casos se utilizaron modelos dinámicos y complejos con el fin de poder cumplir y enfocarnos con lo siguiente:

El modelo de redes neuronales puede evaluar los impactos económicos ante estrategias óptimas que involucra a varios actores y variables.

Dentro de los márgenes de significancia se evaluará de acuerdo al siguiente cuadro Matriz de Consistencia, salieron los siguientes resultados.

La hipótesis de la presente investigación es que el modelo de redes neuronales pueda evaluar los impactos económicos que involucra a varios actores y variables, utilizando como referencia la información financiera publicada por Gravetal S.A. Bajo este escenario la hipótesis planteada o conocida también como *hipótesis nula*, estará denotada por H_0 , frente una *hipótesis alternativa*, denotada por H_a , se busca probar la significancia de los coeficientes de regresión con la prueba t-student dentro de los rangos de confianza.

Cuadro 5.4 - Redes Neuronales: Estimación de Resultados

Gestión	Precio Harina (Bs/Tn)	Precio Aceite (Bs/Tn)	Rendimiento (Tn/Hcta)	Margen Operativo (Bs)
30/6/2016	4.898,63	2,949.66	1.10	-38,693,210.23
31/12/2016	3,919.62	2,704.70	1.54	85,369,215.39
30/6/2017	3,822.29	2,670.66	1.94	112,369,681.23
31/12/2017	3,913.28	2,630.08	1.87	19,368,357.95
30/6/2018	3,937.01	2,638.20	1.96	33,698,632.23
31/12/2018	3,047.53	2,674.16	2.32	-24,836,984.00

Fuente: Elaboración con datos en base al Programa de Redes Neuronales

Entonces se realizó una estimación sobre los resultados de salida sobre los de entrada, es decir el margen operativo obtenido de la simulación versus los estados financieros reales de Gravetal.

Es una regresión simple donde evaluamos si el coeficiente de regresión pueda ser interpretado como la real, ante variaciones. Y como este estadístico de prueba sigue una distribución t, afirmaciones sobre los intervalos de confianza como lo mostramos a continuación:

$$Pr \left[-t_{\alpha/2} \leq \frac{\widehat{\beta}_2 - \beta_2^*}{ee(\beta_2)} \leq t_{\alpha/2} \right] = 1 - \alpha$$

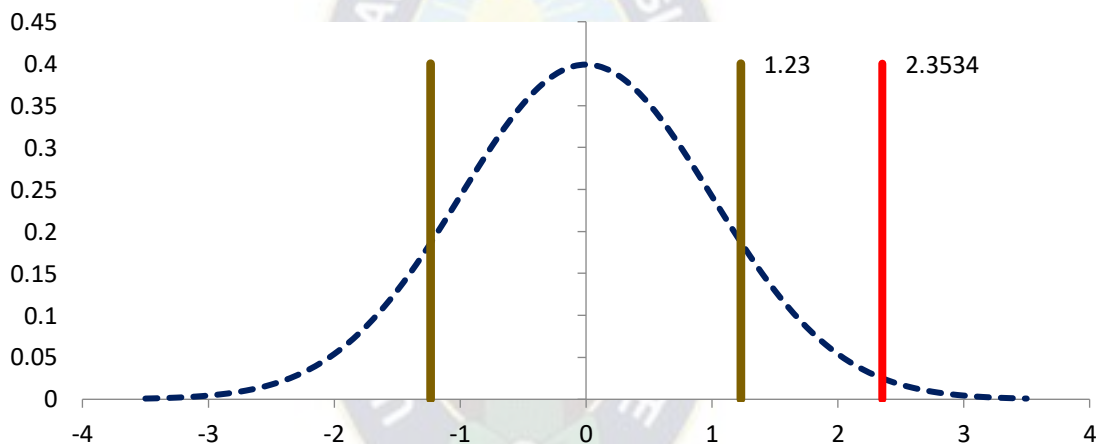
Ahora se aprecia la estrecha conexión entre los enfoques de intervalo de confianza y prueba de significancia, comparando las ecuaciones, del capítulo 6, reemplazamos y obtenemos lo siguiente con un grado de significancia del 5%.

a	10%	5%	2.5%	1%	0.5%
(1-Tail) t-Critico	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
(1-Tail) z-Critico	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

Evaluamos en cada punto de significancia. El cálculo se lo realizo en una plantilla también de Excel, donde se aprecia y calculo por mínimos cuadrados ordinarios los coeficientes.

La región de aceptación es del 95%, lo cual significa que el coeficiente de significancia, por lo que se llega a la conclusión que: “...*es significativo, ya que el valor cae en la región crítica. En este caso se rechaza la hipótesis nula, y de la misma manera se dice que una prueba no es significativa si cae en la región de aceptación...*”

VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS: Prueba de t -Student, 2018



Fuente: Elaboración con datos en base al programa elaborado por Mínimos Cuadrados Ordinarios

Como se aprecia en el gráfico, es significativa ya que cae dentro del 5% de significancia. Lo que nos da un respaldo más de que el modelo implementado puede obtener resultados muy parecidos ante pequeñas variaciones del real.

A continuación mostraremos la pantalla de simulación para la validación de hipótesis y poder interactuar con las variables a analizar.

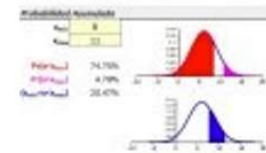
VALIDADOR DE HIPÓTESIS: Cuadros Estadísticos de Validación de Resultados.

df	Media	Varianza
3	2	3

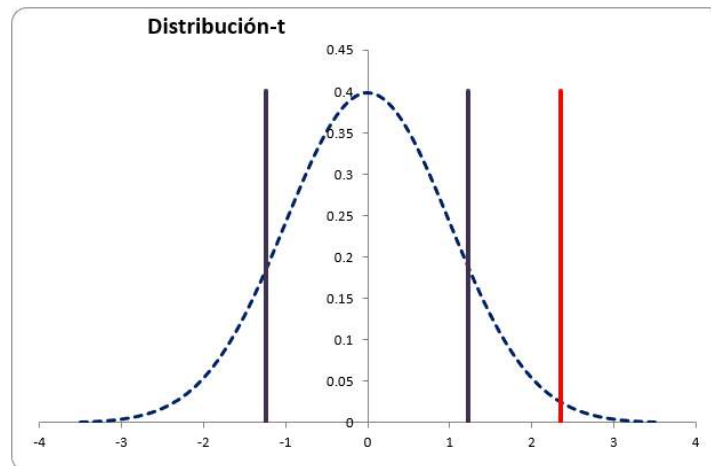
Distribución T- Student

a	10%	5%	2.5%	1%	0.5%
(1-Tail) t -Crítico	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
(1-Tail) z-Crítico	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758

t	1.2345	
p-value	0.1524	(1- Cola derecha)
p-value	0.8476	(1- Cola izquierda)
p-value	0.3049	(2-Colas)



2 Completar campos en verde



Fuente: Elaboración con datos en base al programa elaborado por Mínimos Cuadrados Ordinarios



5.10 CONCLUSIONES. -

Los resultados que se han presentado y la metodología que se ha propuesto, representan una aportación importante en el campo del modelado experimental de sistemas para la obtención de modelos de la dinámica de sistemas desconocidos. Como se ve en Figura 5.6 -Red Neuronal: Gráfico de Aprendizaje y Figura 5.5 - Red Neuronal: Gráfico del Estado del entrenamiento, se ve la eficiencia del modelo, para poder obtener buenos resultados se realizaron 11 iteraciones de los 2.640 datos de cada variable, pero siempre existe la posibilidad de encontrar un modelo que prediga mejor especialmente en el caso de las Redes Neuronales, ya que, al iniciar el entrenamiento con valores aleatorios en los pesos de la función de activación, se puede llegar a obtener un mejor modelo que el que se haya obtenido previamente.



6 CAPÍTULO – CONTROL Y MONITOREO DE LA RED NEURONAL

6.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo daremos a conocer como se debe monitorear la red neuronal ante cambios y la actualización constante para su correcto funcionamiento en cualquier empresa soyera, para cuantificar cualquier cambio y realizar incluso la introducción de nuevas variables que se consideren significativas para su implementación en la toma de decisiones.

6.2 MONITOREO Y EVALUACIÓN

La presente investigación tomo como centros de información a 6 entidades que son los principales proveedores de información las cuales permitirán el correcto manejo y actualización de la red neuronal, en el *Figura 6.3 - CONTROL Y MONITOREO: Actualización Correcta de la Red Neuronal*. Identificar posibles acciones correctivas e implementar los cambios para realinear el modelo con la realidad del contexto del proyecto. Los cambios se hacen primero en el diseño de la red neuronal RNA para que los objetivos de la empresa soyera puedan concluirse de acuerdo a sus estrategias ya elaboradas a principios de años, que es lo mas habitual en cualquier tipo de empresa. Cuando el equipo del proyecto y otros interesados estiman que las acciones propuestas producirán el efecto deseado, el plan del proyecto revisado se aprueba y se comunica. El trabajo continúa conforme al plan revisado.

En el área de investigación de desarrollo e innovación de cualquier empresa de producción se suele creer que los procesos de monitoreo y evaluación siempre van juntos. Si bien la tendencia natural es pensar que ambos son complementarios y están alineados. Las actividades de monitoreo corresponden sobre todo a los dos niveles más bajos del marco lógico y también a los recursos o insumos necesarios para ejecutar las actividades del proyecto. Estas actividades difieren de las actividades de evaluación en frecuencia y enfoque.

Las actividades de evaluación del proyecto corresponden principalmente a los dos niveles superiores del marco lógico (Objetivos e Impacto). En el nivel de objetivos, los datos se recopilan y analizan con menor frecuencia y muchas veces requieren una intervención más formal la frecuencia con que se monitorea esta información la decide la gerencia de la empresa y depende de los recursos (dinero, tiempo y personal) que planea invertir en este nivel de recopilación y análisis de datos. Si bien las actividades de evaluación de la Red Neuronal RNA pueden incluir revisiones de progresos en los dos niveles inferiores del marco de actividades y productos/resultados, el objetivo más ambicioso y fundamental de la evaluación es medir los niveles de objetivos e impacto.

Debido a que los proyectos rara vez transcurren exactamente como se previó en el plan de la gestión de estrategias, es necesario establecer un sistema integrado de gestión del control de cambios para ayudar a los gerentes a mantener el control del proyecto desde el inicio hasta el final. En los proyectos hay cambios por muchas razones. El encargado del funcionamiento de la red neuronal es responsable de gestionar esos cambios y ver que la organización implemente políticas al respecto.

Los cambios pueden tener efectos negativos o positivos. Es importante que el encargado del sistema de la RNA dirija este proceso con cuidado porque hasta los cambios que parecen insignificantes pueden provocar cambios significativos para el presupuesto, el cronograma, el alcance y/o la calidad del proyecto.

El proceso del control integrado de cambios incluye las siguientes actividades de control de cambios:

- Identificar que un cambio tiene que producirse o ya se produjo.
- Revisar los cambios propuestos, analizando el efecto que producirían en todo el plan del proyecto.
- Aprobar/rechazar los cambios solicitados.
- Controlar y actualizar los requisitos de alcance, costo, presupuesto, cronograma y calidad, basándose en los cambios aprobados, mediante la coordinación de los cambios en todo el proyecto.

- Documentar el efecto total de los cambios solicitados.

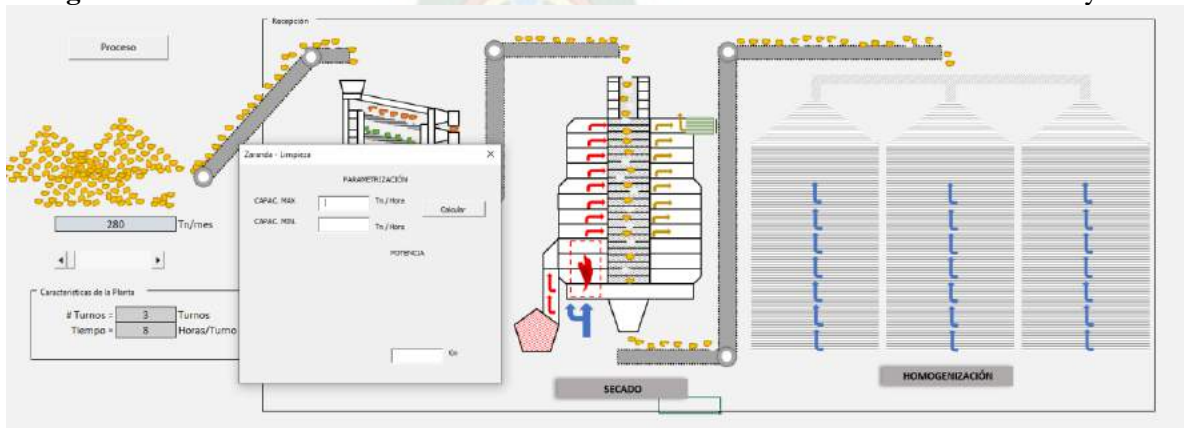
Es importante que las repercusiones que un cambio puede tener en todas las secciones del plan para la gestión de la empresa soyera, sean consideradas debidamente antes de aplicar el cambio. De hecho, esto requiere una revisión por expertos concedores de cada una de las áreas (producción, costos, planificación, riesgos, adquisiciones de materia prima, etc.).

Si hay consenso en que la red neuronal identifica un cambio benéfico y sus efectos son aceptables, el cambio debe ser aprobado, generalmente por el gerente general o por sus principales accionistas, según el alcance y la escala del cambio y los límites de su autoridad. Cuando el cambio es aprobado, las estrategias propuestas deben comunicarse a todo el equipo de la empresa, para que cada uno trabaje con el mismo plan.

6.3 PARAMETRIZACIÓN DE LA RED NEURONAL

El esquema general presentado en la investigación muestra las parametrizaciones que tiene la red neuronal para poder adecuarse a cualquier otra empresa soyera (recalcando que la empresa debe ser una empresa de producción superior a los 2.200 Tn / día ya que su procesos de producción son por extracción de aceite por solventes), en el nivel de sus producciones. La red neuronal es *flexible* y se adapta cambiando la estructura de sus capacidades de producción, como se muestra a continuación:

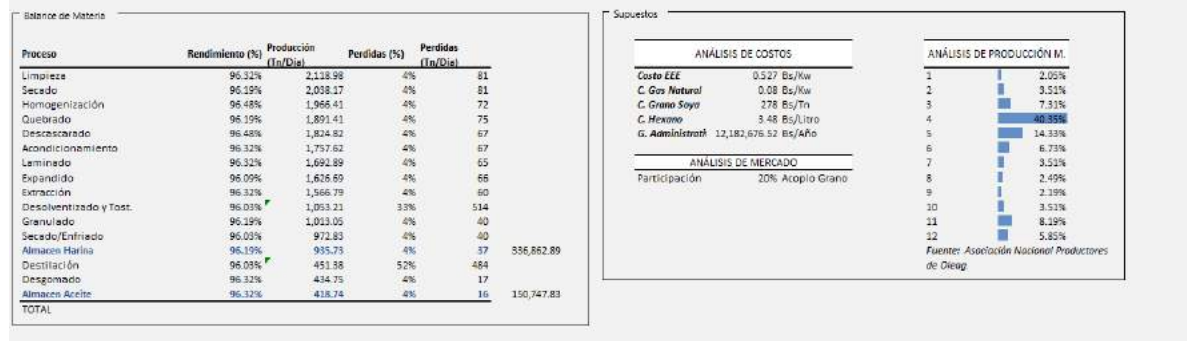
Figura 6.1 - PROCESO DE PRODUCCIÓN: Parametrización de la Producción de Soya



Fuente: Elaboración con datos en base al Programa de redes neuronales en VBA

Los costos incurridos se introducen en la base de datos donde también se aprecia los primeros resultados en el balance de materia como de energía.

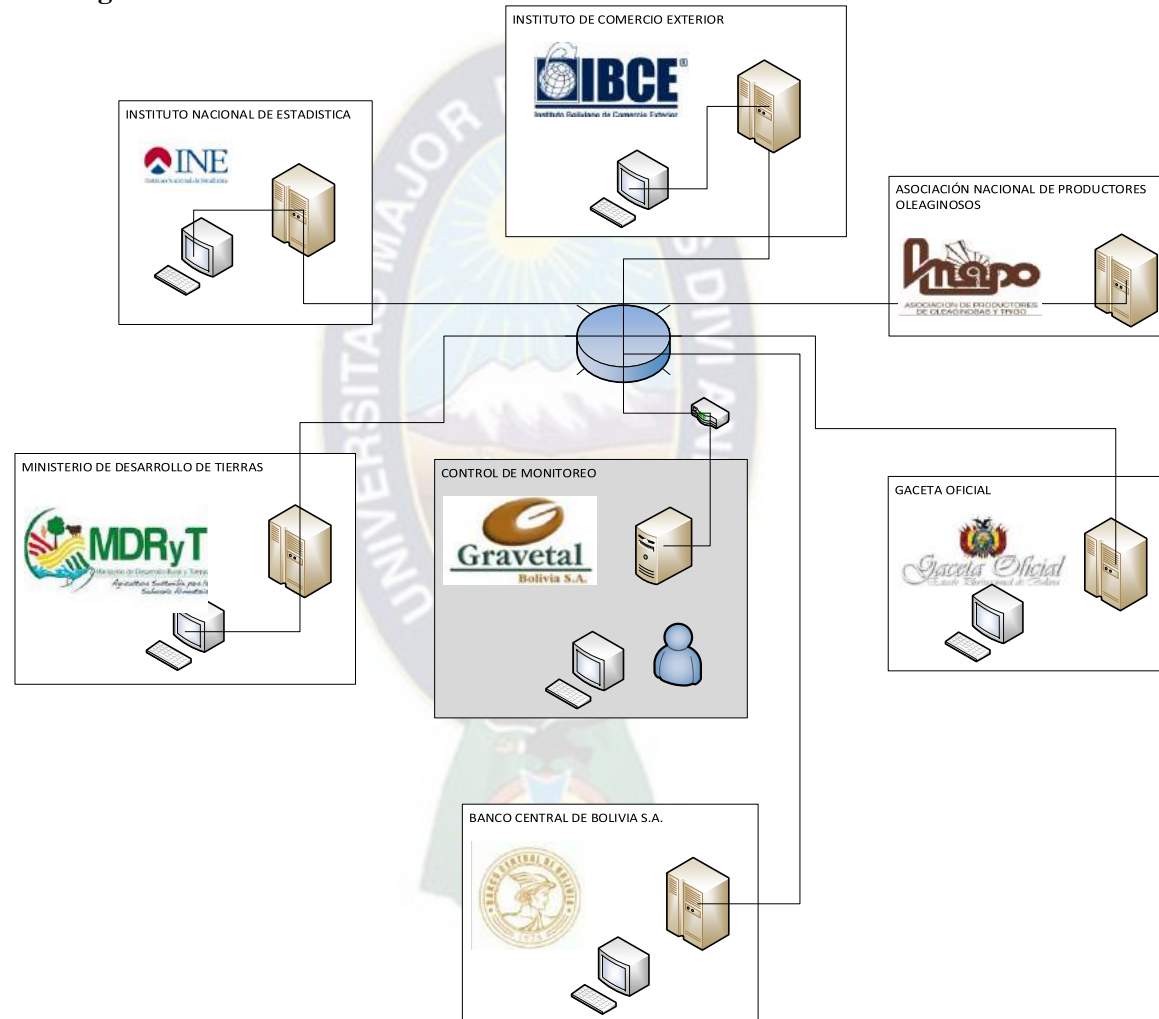
Figura 6.2 - COSTOS DE PRODUCCIÓN: Parametrización del Balance de Materia y Energía



Fuente: Elaboración con datos en base Programa de redes neuronales en VBA

Como se muestra en los gráficos anteriores se ve que es manipulable por el centro de innovación de desarrollo empresarial (lugar físico donde se ejecutara el funcionamiento de la red neuronal) cualquier tipo de variable crítica. El incorporar una nueva variable a las ya presentadas se debe desarrollar un esquema donde se especifique características técnicas de algún equipo y se lo realiza directamente en el programa VBA, para que solamente pueda ser modificado una vez así dejamos el riesgo a manipular constantemente estas variables.

Figura 6.3 - CONTROL Y MONITOREO: Actualización Correcta de la Red Neuronal

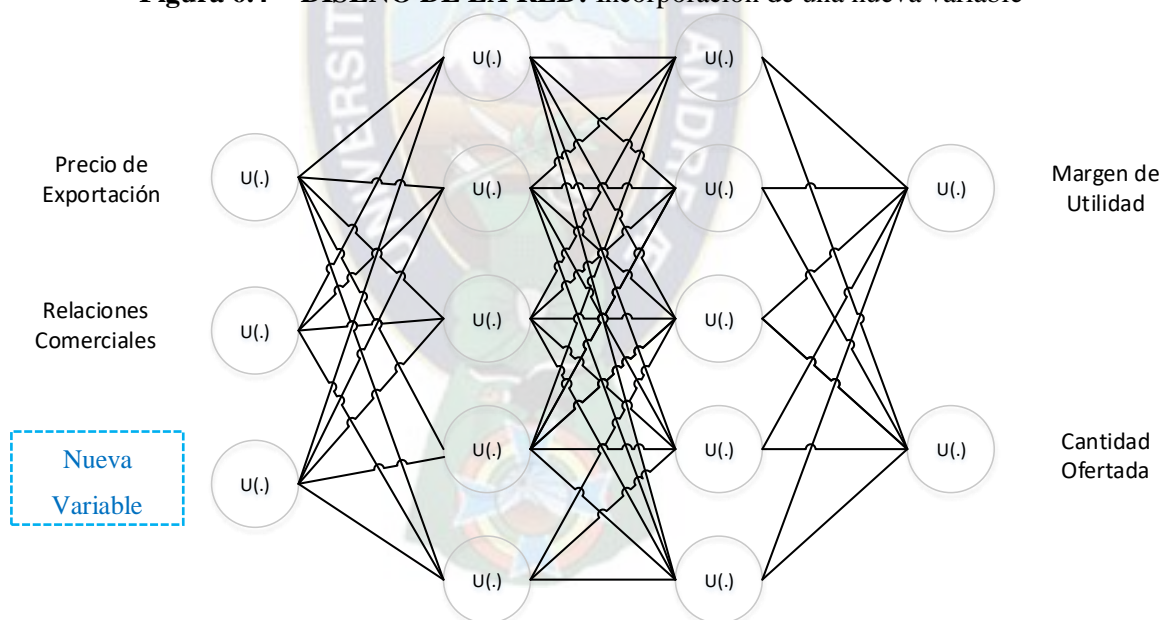


Fuente: Elaboración con datos en base al centro de información de la Red Neuronal.

6.4 INCORPORACIÓN DE NUEVAS VARIABLES A RED NEURONAL

Incorpora algunas innovaciones en la modelación de la red neuronal y sus determinantes que permiten generar pronósticos más confiables, gracias a que el modelo se aproxima con mayor exactitud a la realidad, desde un enfoque teórico y empírico el funcionamiento de la red neuronal al tratar de introducir cualquier otra variable es necesario volver a entrenamiento de la red, proceso que incorpora cualquier otra variable. Como ya se mostró anteriormente la red neuronal, tiene el siguiente esquema, donde al introducir una nueva variable el área de innovación de desarrollo empresarial ya sea como en el ejemplo la introducción de los datos se ejecuta en la pestaña del “Procesador de Red Neuronal”, lugar donde se encuentra la base de datos históricos.

Figura 6.4 - DISEÑO DE LA RED: Incorporación de una nueva variable



6.5 CENTROS DE INFORMACIÓN

Existe algunos costos que se incurren al tratar de acceder a información privilegiada (que nos referimos a información de primera mano por la entidad regulada y no a información clandestina que para el funcionamiento de la red neuronal no interesa trabajar con especulaciones), pero que por lo general será solo en un pago anual.

6.6 CONCLUSIONES

El desarrollo de sistemas de monitoreo y evaluación empieza mucho antes de que se implemente la red neuronal. El diseño inicial influye mucho en la facilidad con que el sistema de monitores y evaluación se implementará más adelante, razón por la cual nos enfocaremos en este capítulo. Un buen diseño de proyecto facilita la creación y alineación de sistemas completos de monitoreo y evaluación. El plan de monitoreo y evaluación se desarrolla en la fase de planificación y establece el sistema de información que se utilizará para rastrear y medir el avance, el desempeño y el impacto del proyecto. El momento oportuno para desarrollar un plan de monitoreo y evaluación, es después de la aprobación de la financiación de la implementación de la Red Neuronal, pero antes del inicio de las intervenciones.



7 CONCLUSIONES

El principal problema que confronta el sector oleaginoso está relacionado con las restricciones a las exportaciones que el Gobierno nacional ha venido implementando a través de la promulgación de Decretos Supremos, con el justificativo de garantizar el abastecimiento del mercado interno a precio justo y luego autorizar la exportación de los excedentes. Que las políticas del gobierno indican que el producto es el que realmente garantiza la Seguridad Alimentaria y genera empleos.

La implementación de esta medida ha generado problemas en el flujo normal de las exportaciones y ha puesto en riesgo el sistema de acopio y almacenamiento de granos, de acuerdo con los resultados del simulador de producción desarrollado en Excel, la planta estaba parada alrededor de 150 días y en perjuicio del proceso de comercialización de los productores primarios.

Un posible riesgo para la creciente producción del complejo oleaginoso es la pérdida de preferencias arancelarias en los países de la CAN y Venezuela, por el nuevo marco de relaciones internacionales en el continente lo cual ha quedado aclarado en los últimos meses, por la decisión de Perú, Colombia y Ecuador para mantener las preferencias arancelarias a favor de Bolivia y por el acuerdo de marzo del 2011 con Venezuela.

Otro problema que se identificó también es el bajo consumo interno debido a hábitos alimenticios que no tienen preferencia por la soya, añadiendo el contrabando de aceites de cocina del Brasil y de la Argentina que se constituye en una de las principales trabas para el desarrollo del mercado local y representan casi el 30% del total del consumo interno, según estudios realizados en (Zeballos, Bolivia: Desarrollo del Sector Oleaginoso, 2001)

La presente investigación desarrolló redes neuronales que fueron capaces de operar en tiempo real, trabajaron mediante conexiones en paralelo, lo que permite grandes velocidades de transmisión y respuesta casi al instante, como se mostró en el simulador de redes neuronales, con un margen de certeza calculado alrededor del 93% en cada señal analizada. Como ya mencionamos, las redes neuronales, debido a su constitución y

fundamento, presentan grandes semejanzas con el cerebro, fueron capaces de aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas que representan información irrelevante.

El simulador codificado en Visual Basic y ejecutado en Excel tiene un proceso para validar en tiempo real las diferentes variaciones ante un cambio en el suministro, precios y relaciones comerciales. El margen de utilidad que se calculó oscila entre un 14% - 12%, la plataforma en tiempo real también puede corregirse y busca estabilizar el sistema que con la información histórica permite estimar los posibles resultados.

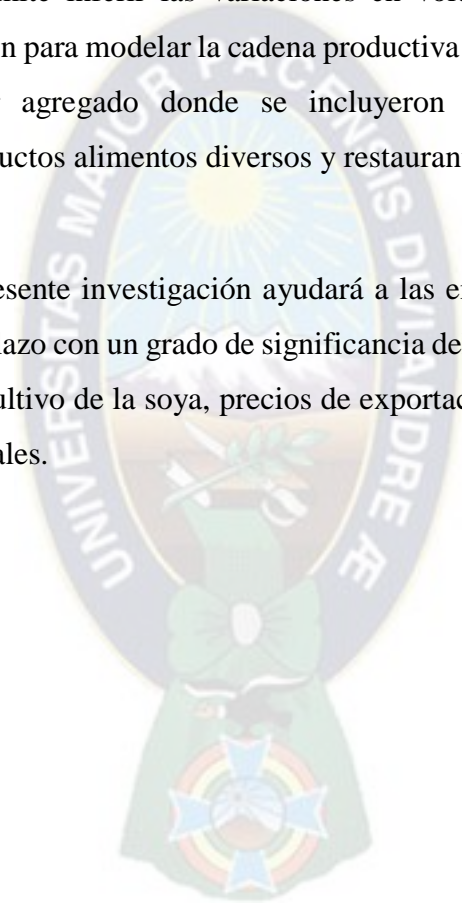
Uno de los principales alcances fue estimar las pérdidas de la gestión 2018 y 2016 de la empresa sojera Gravelta Bolivia S.A., afectando dos factores: la sequía de soya y la subida de precios, con un rendimiento por hectárea del 1.10 (Tm/Hcta) pese a una subida de los precios desde 4.369 Bs/Tn Aceite a 4.898 Bs/Tn Aceite. las redes neuronales estimaron una pérdida de 24.836.984 bolivianos, revisando los estados financieros de Gravelta de la gestión 2016 fue de 26.611.377 bolivianos teniendo una aproximación del 93.33% (como se mencionó), lo cual permitió cuantificar los impactos económicos-financieros bajo ese escenario.

Posteriormente, a nivel macroeconómico se pudo representar un modelo matemático mediante funciones de transferencia, que representa el diseño de sistemas dinámicos y complejos, se estimaron modelos lineales e invariantes en el tiempo a través de un Modelo de Programación Lineal, que se realizó utilizando una matriz de insumo-producto para inferir el cálculo del Producto Interno Bruto tomando en cuenta los componentes de la demanda (Consumo, Importaciones, Exportaciones e Inversiones). Estos modelos, ante una variación del error, tienden a corregirse por lo general en un tiempo de 3 periodos lo cual permite cuantificar las decisiones del sector estratégico para medir su impacto a los diferentes actores relacionados.

El programa adicional a las redes neuronales, también desarrollado en Excel, corresponde a las funciones de transferencia que permiten al analista interactuar con las variables de inversión, exportaciones e importaciones y analizan la tendencia de cada sector. Para la

estimación de las ecuaciones se diseñaron modelos ARIMA y ARMAX para obtener ecuaciones lineales e invariantes en el tiempo, dichas ecuaciones cumplen con los requisitos mínimos de linealidad (Proporcionalidad, Aditividad y Linealidad). Se estimaron como 38 modelos de los cuales 35 corresponden a sectores de producción de cuentas nacionales y 3 modelos para estimar precios y rendimientos de cultivo y derivados de soya, lo que permite inferir las variaciones en volumen del sector. Los modelos ARMAX, se utilizaron para modelar la cadena productiva de los derivados de la soya para cuantificar su valor agregado donde se incluyeron al sector agrícola, industrias manufactureras, productos alimentos diversos y restaurantes.

En conclusión, la presente investigación ayudará a las empresas oleaginosas a elaborar estrategias de corto plazo con un grado de significancia del 93%, para afrontar variaciones del rendimiento de cultivo de la soya, precios de exportación y precios de mercado local y relaciones comerciales.



8 BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas. (2001). *Caracterización y Análisis de la competitividad del sector Soya en Bolivia*. Santa Cruz.
- Asociación Nacional Productores de Oleaginosos. (2015). *Resultados de Siembra y Cosecha en Bolivia*. Santa Cruz: Asociación Nacional Productores de Oleaginosos.
- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas. (2013). *Estudio Mercado del Grano de Soya*. Santa Cruz.
- Bueno, A. M. (2011). *Sistemas de Control Automático*. Universidad de Alicante.
- Decreto Supremo N° 28225. (2005). *Decreto Supremo N° 28225*.
- Decreto Supremo N° 162. (2009). *Decreto Supremo N° 162, 10 de junio de 2009*. Obtenido de <http://www.lexivox.org>
- Fundempresa. (30 de Junio de 2018). *Estadística del Registro de Comercio de Bolivia*. Obtenido de Fundempresa: www.fundempresa.org.bo
- Gujarati, D. N. (2010). *Econometría*. Mexico D.F.: McGraw-Hill/Interamericana.
- Impuestos Nacionales . (10 de julio de 2013). *Productores agrícolas están incorporados en el Régimen Agropecuario Unificado*. Obtenido de Productores agrícolas están incorporados en el Régimen Agropecuario Unificado: <http://www.impuestos.gob.bo>
- INE. (27 de Septiembre de 2018). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística: <https://www.ine.gob.bo/>
- Instituto Boliviano de Comercio Exterior. (2017). *Cifras del Comercio Exterior Boliviano*. La Paz.

- Instituto Nacional de Estadística. (2000). *Metadato de cuentas nacionales, Metodología Insumo Producto*. La Paz: Instituto Nacional de Estadística;. Obtenido de www.ine.gob.bo
- Instituto Nacional de Estadística. (s.f.). *Metadatos Cuentas Nacionales Insumo Producto*. Obtenido de Metadatos Cuentas Nacionales Insumo Producto: www.ine.gob.bo
- Karl Johan Astrom, R. M. (2009). *Feedback Systems*. Estados Unidos: Princeton University Press.
- Kriesel, D. (27 de Mayo de 2005). *A brief Introduction to Neural Networks*. Obtenido de A brief Introduction to Neural Networks: http://www.dkriesel.com/en/sciense/neural_networks
- Leon, P., & Marconi, S. (1990). *La contabilidad Nacional como Modelo de Descripción Económica*. Caracas, Venezuela.
- Mahalanabis, A. (1987). *Introducción a la Ingeniería de Sistemas*. Mexico D.F.: Limusa.
- Mahalanabis, A. (1987). *Introducción a la Ingeniería de Sistemas*. Mexico DF: Noriega Editores.
- Norton, D., & Kaplan, R. (2000). *CUADRO DE MANDO INTEGRAL*. Barcelona: Gestión 2000.
- Norton, R. S. (2002). *El Cuadro de Mando Integral*. Barcelona: Gestión 2000.
- Observatorio Agroambiental y Productivo. (31 de Diciembre de 2016). *Observatorio Agroambiental y Productivo*. Obtenido de Observatorio Agroambiental y Productivo: <http://www.observatorioagro.gob.bo/>
- P.Norton, R. S. (2002). *Cuadro de Mando Integral* (Segunda Edición ed.). Barcelona: Gestión 2000.
- Parkin, M. (2009). *Economía*. Mexico DF: Pearson Educación.
- Perez, M. (2008). *La Soya en Bolivia, ¿El "Grano de Oro" que no brilla?* Santa Cruz.

Procesos, D. y. (s.f.). *Dinamica y Control de Procesos*. Recuperado el 12 de Octubre de 2014, de Dinamica y Control de Procesos: www.fing.edu.uy

REDIMA - Reunión de trabajo sobre Modelización, Matrices de Insumo-Producto y Armonización Fiscal. (2005). *Tópicos sobre el modelo de insumo - producto: Teoría y Aplicaciones*. Santiago de Chile. Obtenido de <http://www.eclac.cl/deype>

Reinoso, O. (2004). *Control de Sistemas Discretos*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.

Salvadori, H. D. (22 de MAYO de 1998). *The Dynamic Leontief Model and the Theory of Endogenous Growth*. Obtenido de The Dynamic Leontief Model and the Theory of Endogenous Growth.

Universidad de Concepción. (2001). *Dinamica de Procesos*. Concepción: Edmundo Larenas.

Vergara, B. A., Salazar, H. E., & Zapata, N. O. (2017). *Obtención de la función de transferencia de un motor de DC mediante el análisis de la curva de reacción*. Madrid: Ecorfan.

Villamontt, G. P. (II-2014). *Políticas*. La Paz.

Zeballos, H. (2001). *Bolivia: Desarrollo del Sector Oleaginoso*. Santa Cruz de la Sierra: IBCE.

Zeballos, H. (2012). *Aporte Agroalimentario para Bolivia y el Mundo*. Santa Cruz.



ANEXO A.

ECONOMETRIA SERIES DE TIEMPO

ANEXO A 1– ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE PARAMETROS DE CONTROL – ARIMA, ARMAX

Sub Minimós_Cuadrados ()

Dim RES, RESIDUOS_TOTALES, RESIDUOS_REZAGO_DURBIN, RESIDUOS_DURBIN As Double

Dim XTX, XTY, YTY, INVXTX, COEF_BETA, VAR_COV As Variant

ReDim Preserve DURBIN(m), SCR(m), SCE(m), SCT(m), R2(m), RADJ(m), AKAIKE(m), SCHWARZ(m), VAR(m), BETA(coef, m), EE(coef, m) As Double

If c > 1 Then

'MATRICES

ReDim COEF_BETA(1 To c, 1 To 1)

ReDim XTY(1 To c, 1 To 1)

ReDim INVXTX(1 To c, 1 To c)

ReDim VAR_COV(1 To c, 1 To c)

'DETERMINAMOS LOS COEFICIENTES BETA

XTY = Application.MMult(Application.Transpose(X), Y)

INVXTX = Application.MInverse(Application.MMult(Application.Transpose(X), X))

COEF_BETA = Application.MMult(INVXTX, XTY)

'DETERMINAMOS ESTADISTICOS

For i = 1 To n - d - 1

YTY = YTY + (Y(i, 1) * Y(i, 1))

Next i

For i = 1 To c

RES = RES + COEF_BETA(i, 1) * XTY(i, 1)

Next i

'DONDE SCR - SUMA DE CUADRADOS RESIDUAL

SCR(m) = YTY - RES

'DONDE VAR - VARIANZA

VAR(m) = SCR(m) / (n - c - d)

'DONDE VAR_COV- MATRIZ DE VARIANZA Y COVARIANZA

For i = 1 To c

For j = 1 To c

VAR_COV(i, j) = VAR(m) * INVXTX(i, j)

Next j

Next i

'PARA IMPRIMIR LOS VALORES

For i = 1 To c

BETA(i, m) = COEF_BETA(i, 1)

EE(i, m) = VAR_COV(i, i) ^ (1 / 2)

Next i

'DONDE SCE - SUMA DE CUADRADOS

SCE(m) = RES - (n - d - 1) * (Y_Media ^ 2)

'DONDE SCE - SUMA DE CUADRADOS TOTALES

SCT(m) = YTY - (n - d - 1) * (Y_Media ^ 2)

'PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE - R - REGRESIÓN

R2(m) = SCE(m) / SCT(m)

'RADJ - REGRESIÓN AJUSTADO

RADJ(m) = 1 - (1 - R2(m)) * ((n - d - 1) / (n - d - 1 - c))

'INFORMACIÓN DE AKAIKE

AKAIKE(m) = 2 * c / (n - d - 1) + Application.Ln(SCR(m) / (n - d - 1))

'INFORMACIÓN DE SHWARZ

SCHWARZ(m) = ((c / (n - d - 1)) * Application.Ln(n - d - 1)) + Application.Ln(SCR(m) / (n - d - 1))

```

'DURBIN WATSON
For i = 2 To n - d - 1
For j = 1 To c
RESIDUOS_DURBIN = RESIDUOS_DURBIN + COEF_BETA(j, 1) * X(i, j)
RESIDUOS_REZAGO_DURBIN = RESIDUOS_REZAGO_DURBIN + COEF_BETA(j, 1) * X(i - 1, j)
Next j
RESIDUOS_TOTALES = RESIDUOS_TOTALES + ((Y(i, 1) - RESIDUOS_DURBIN) - (Y(i - 1, 1) -
RESIDUOS_REZAGO_DURBIN)) ^ 2
RESIDUOS_DURBIN = 0
RESIDUOS_REZAGO_DURBIN = 0
Next i
DURBIN(m) = RESIDUOS_TOTALES / SCR(m)
*****
'CON VECTORES
Else
For i = 1 To n - d - 1
XTX = XTX + (X(i, 1) * X(i, 1))
XTY = XTY + (X(i, 1) * Y(i, 1))
YTY = YTY + (Y(i, 1) * Y(i, 1))
Next i
INVXTX = 1 / XTX
'DETERMINAMOS LOS COEFICIENTES BETA
COEF_BETA = INVXTX * XTY
'DETERMINAMOS ESTADISTICOS
'SUMA DE CUADRADOS RESIDUAL
SCR(m) = YTY - COEF_BETA * XTY
'DONDE VAR - VARIANZA
VAR(m) = SCR(m) / (n - c - d)
'DONDE VAR_COV- MATRIZ DE VARIANZA Y COVARIANZA
VAR_COV = VAR(m) * INVXTX
'PARA IMPRIMIR LOS VALORES
BETA(c, m) = COEF_BETA
EE(c, m) = VAR_COV ^ (1 / 2)
'DONDE SCE - SUMA DE CUADRADOS
SCE(m) = COEF_BETA * XTY - (n - d - 1) * (Y_Media ^ 2)
'DONDE SCE - SUMA DE CUADRADOS TOTALES
SCT(m) = YTY - (n - d - 1) * (Y_Media ^ 2)
'PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE - R - REGRESIÓN
R2(m) = SCE(m) / SCT(m)
'RADJ - REGRESIÓN AJUSTADO
RADJ(m) = 1 - (1 - R2(m)) * ((n - d - 1 - 1) / (n - d - 1 - c))
'INFORMACIÓN DE AKAIKE
AKAIKE(m) = 2 * c / (n - d - 1) + Application.Ln(SCR(m) / (n - d - 1))
'INFORMACIÓN DE SHWARZ
SCHWARZ(m) = ((c / (n - d - 1)) * Application.Ln(n - d - 1)) + Application.Ln(SCR(m) / (n - d - 1))
'DURBIN WATSON
For i = 2 To n - d - 1
RESIDUOS_DURBIN = COEF_BETA * X(i, c)
RESIDUOS_REZAGO_DURBIN = COEF_BETA * X(i - 1, c)
RESIDUOS_TOTALES = RESIDUOS_TOTALES + ((Y(i, 1) - RESIDUOS_DURBIN) - (Y(i - 1, 1) -
RESIDUOS_REZAGO_DURBIN)) ^ 2
Next i

```

```

DURBIN(m) = RESIDUOS_TOTALES / SCR(m)
End If
End Sub
*****
***
FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN Y CORRELOGRAMA
*****
***Sub FAC_FACP_INTEGRADO ()
'ANALIZAMOS PRIMERO FAC Y DESPUES FACP A LOS DATOS
*****
***
Dim VARIANZA As Double
ReDim COV_REZAGO_I(1 To rezago, 1 To 1) As Variant
'VARIANZA
For i = 1 To n - d
VARIANZA = VARIANZA + (DX(i, 1) - DX_Media) ^ 2
Next i
'COVARIANZA
For j = 1 To rezago
For i = 1 To n - d - j
COV_REZAGO_I(j, 1) = COV_REZAGO_I(j, 1) + (DX(i + j, 1) - DX_Media) * (DX(i, 1) - DX_Media)
Next i
COV_REZAGO_I(j, 1) = COV_REZAGO_I(j, 1) / VARIANZA
Next j
*****
***
'FAC PARCIAL
ReDim FAC_PARCIAL_I(1 To rezago, 1 To 1)
Dim MATRIZ_REZAGO_INV(), MATRIZ_REZAGO As Variant
For z = 1 To rezago
e = 1
ReDim MATRIZ_REZAGO_INV(1 To z, 1 To z), MATRIZ_REZAGO(1 To z, 1 To 1)
If z = 1 Then
FAC_PARCIAL_I(1, 1) = COV_REZAGO_I(1, 1)
Else
For i = 1 To z
For j = 1 To z
If j = i Then
MATRIZ_REZAGO_INV(i, j) = 1
e = 0
Else
If j > i Then
MATRIZ_REZAGO_INV(i, j) = COV_REZAGO_I(j - i, 1)
Else
MATRIZ_REZAGO_INV(i, j) = COV_REZAGO_I(i - j, 1)
End If
End If
Next j
e = 1
MATRIZ_REZAGO(i, 1) = COV_REZAGO_I(i, 1)
Next i
MATRIZ_REZAGO_INV = Application.MInverse(MATRIZ_REZAGO_INV)

```

```

MATRIZ_REZAGO = Application.MMult(MATRIZ_REZAGO_INV, MATRIZ_REZAGO)
FAC_PARCIAL_I(z, 1) = MATRIZ_REZAGO(z, 1)
End If
Next z
End Sub
'ANALIZAMOS PRIMERO FAC Y DESPUES FACP A LOS DATOS INTEGRADOS
*****
***
Sub FAC_FACP()
FAC = COV_REZAGO
Dim VARIANZA As Double
ReDim COV_REZAGO(1 To rezago, 1 To 1) As Variant
'VARIANZA
For i = 1 To n
VARIANZA = VARIANZA + (Serie(i, 1) - Promedio_Serie) ^ 2
Next i
'COVARIANZA
For j = 1 To rezago
For i = 1 To n - j
COV_REZAGO(j, 1) = COV_REZAGO(j, 1) + (Serie(i + j, 1) - Promedio_Serie) * (Serie(i, 1) -
Promedio_Serie)
Next i
COV_REZAGO(j, 1) = COV_REZAGO(j, 1) / VARIANZA
Next j
*****
***
'FAC PARCIAL
ReDim FAC_PARCIAL(1 To rezago, 1 To 1)
Dim MATRIZ_REZAGO_INV(), MATRIZ_REZAGO As Variant
For z = 1 To rezago
e = 1
ReDim MATRIZ_REZAGO_INV(1 To z, 1 To z), MATRIZ_REZAGO(1 To z, 1 To 1)
If z = 1 Then
FAC_PARCIAL(1, 1) = COV_REZAGO(1, 1)
Else
For i = 1 To z
For j = 1 To z
If j = i Then
MATRIZ_REZAGO_INV(i, j) = 1
e = 0
Else
If j > i Then
MATRIZ_REZAGO_INV(i, j) = COV_REZAGO(j - i, 1)
Else
MATRIZ_REZAGO_INV(i, j) = COV_REZAGO(i - j, 1)
End If
End If
Next j
e = 1
MATRIZ_REZAGO(i, 1) = COV_REZAGO(i, 1)
Next i
MATRIZ_REZAGO_INV = Application.MInverse(MATRIZ_REZAGO_INV)

```

```

MATRIZ_REZAGO = Application.MMult(MATRIZ_REZAGO_INV, MATRIZ_REZAGO)
FAC_PARCIAL(z, 1) = MATRIZ_REZAGO(z, 1)
End If
Next z
End Sub

```

```

*****
***

```

PRUEBAS DE RAIZ UNITARIA

```

*****
***

```

```

Sub Raiz_Unitaria()

```

```

*****
***

```

```

'PRIMER MODELO - NONE

```

```

'DYt = Yt - 1 + ut

```

```

m = 1

```

```

c = 1

```

```

ReDim X(1 To n - d - 1, 1 To c)

```

```

For i = 1 To n - d - 1

```

```

X(i, 1) = DX(i, 1)

```

```

Next i

```

```

Minimos_Cuadrados

```

```

*****
***

```

```

'SEGUNDO MODELO - INTERCEPT

```

```

'DYt = C + Yt-1 + ut

```

```

m = 2

```

```

c = 2

```

```

ReDim Preserve X(1 To n - d - 1, 1 To c)

```

```

For i = 1 To n - d - 1

```

```

X(i, 2) = X(i, 1)

```

```

X(i, 1) = 1

```

```

Next i

```

```

Minimos_Cuadrados

```

```

*****
***

```

```

'TERCER MODELO - INTERCEPT + TREND

```

```

'DYt = C + t + Yt-1 + ut

```

```

m = 3

```

```

c = 3

```

```

ReDim Preserve X(1 To n - d - 1, 1 To c)

```

```

For i = 1 To n - d - 1

```

```

X(i, 1) = 1

```

```

X(i, 3) = X(i, 2)

```

```

X(i, 2) = i

```

```

Next i

```

```

Minimos_Cuadrados

```

```

*****
***

```

```

End Sub

```

```

*****
***

```


PRUEBA DE WHITE – HETEROCEDASTICIDAD

```
*****
***
Sub Prueba_White()
m = 4
c = 2
If d > 0 Then
    ReDim X(1 To n - d - 1, 1 To c)
    For i = 1 To n - d - 1
        X(i, 1) = 1
        X(i, 2) = i
    Next i
Else
    ReDim Y(1 To n, 1 To 1)
    For i = 1 To n
        Y(i, 1) = Serie(i, 1)
    Next i
    ReDim X(1 To n, 1 To c)
    For i = 1 To n
        X(i, 1) = 1
        X(i, 2) = i
    Next i
End If
Minimos_Cuadrados
End Sub
```

```
*****
***
```

ALGORITMO DE INTEGRACIÓN DE SERIE DE TIEMPO

```
*****
***
Sub Definir_Variables_X_Y()
Dim AUX() As Double
Dim signo As String
DX_Media = 0, Y_Media = 0
*****
'CREAMOS UNA PIRAMIDE PARA CREAR LAS DIFERENCIAS ENTRE PERIODOS -
CORRESPONDE AL EJE Y
ReDim Y(1 To n - d - 1, 1 To 1), AUX(1 To d + 1, 1 To d + 1)
For u = 1 To n - d - 1
    e = d
    For i = -d - 1 To -1
        If e >= 0 Then
            For j = 1 To d + 1
                AUX(-i, j) = Serie(u + e + 1, 1) - Serie(u + e, 1)
                e = e - 1
            Next j
        Else
            For j = 1 To -i
                AUX(-i, j) = AUX(-i + 1, j) - AUX(-i + 1, j + 1)
            Next j
        End If
    Next i
Next u
```

```

    Y(u, 1) = AUX(1, 1)
    Y_Media = Y_Media + Y(u, 1)
Next u
Y_Media = Y_Media / (n - d - 1)
*****
'CREAMOS UNA PIRAMIDE PARA CREAR LAS DIFERENCIAS ENTRE PERIODOS
ReDim DX(1 To n - d, 1 To 1)
For u = 1 To n - d
e = d - 1
If e >= 0 Then
    For i = -d To -1
        If e >= 0 Then
            For j = 1 To d
                AUX(-i, j) = Serie(u + e + 1, 1) - Serie(u + e, 1)
                e = e - 1
            Next j
        Else
            For j = 1 To -i
                AUX(-i, j) = AUX(-i + 1, j) - AUX(-i + 1, j + 1)
            Next j
        End If
    Next i
    DX(u, 1) = AUX(1, 1)
    DX_Media = DX_Media + DX(u, 1)
Else
    DX(u, 1) = Serie(u, 1)
    DX_Media = DX_Media + DX(u, 1)
End If
Next u
DX_Media = DX_Media / (n - d)
End Sub
*****
***
AUTORREGRESIÓN Y DE MEDIAS MOVILES
*****
***
Sub Modelo_ARMA()
Dim INTEGRADO As Double
AR = Range("L12")
INTEGRADO = Range("K5")
MA = Range("N12")
Sheets("DATOS-TABLAS").Select
Range("E5").Select
For j = 1 To INTEGRADO
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next j
r = ActiveCell.Row
Range(Cells(r, 5), Cells(Range("B1") - INTEGRADO + 5, 5)).Copy
' 4 PORQUE COMIENZA EN LA FILA 5
Sheets("ARMA").Select
Range("A5").PasteSpecial
ActiveCell.Offset(0, 1).Select

```

```

If AR > MA Then
b = AR
Else
b = MA
End If
For j = 1 To b
ActiveCell = 0
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next j
'MODELO AR
If MA = 0 Then
For j = b + 1 To b + 1
ActiveCell.FormulaLocal = "=A" & j + 4 & "-(A" & j - AR + 4 & ")*$E$5)"
Next j
Else
'MODELO MA
If AR = 0 Then
For j = b + 1 To b + 1
ActiveCell.FormulaLocal = "=A" & j + 4 & "-(B" & j - MA + 4 & ")*$F$5)"
Next j
Else
'MODELO ARMA
If AR <> 0 And MA <> 0 Then
For j = b + 1 To b + 1
ActiveCell.FormulaLocal = "=A" & j + 4 & "-(B" & j - MA + 4 & ")*$F$5)-(A" & j - AR + 4 & ")*$E$5)"
Next j
End If
End If
End If
'PEGAR FORMULAS
ActiveCell.Copy
Range(Cells(b + 5, 2), Cells(Range("B2") - INTEGRADO + 4, 2)).PasteSpecial
Range("E9").FormulaLocal = "=SUMA.CUADRADOS(B" & b + 5 & ":B" & Range("B2") - INTEGRADO + 4 & ")"
Solver
End Sub
Sub Solver()
'MODELO AR
If MA = 0 Then
Range("F5") = 0
SolverReset
SolverOptions AssumeNonNeg:="True"
SolverOk SetCell:="$E$9", MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$E$5", Engine:="1"
SolverSolve UserFinish:=True
Else
'MODELO MA
If AR = 0 Then
Range("E5") = 0
SolverReset
SolverOptions AssumeNonNeg:="True"
SolverOk SetCell:="$E$9", MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$F$5", Engine:="1"
SolverSolve UserFinish:=True

```

```

Else
'MODELO ARMA
If MA <> 0 And AR <> 0 Then
SolverReset
SolverOptions AssumeNonNeg:="True"
SolverOk SetCell:="$E$9", MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="$E$5:$F$5", Engine:="1"
SolverSolve UserFinish:=True
End If
End If
End If
End Sub
*****
***
METODOLOGÍA DE BOX – JEKINS
*****
***
Public AR, MA As Integer
Public n_sim As Integer
Sub Modelo_Arima()
Application.ScreenUpdating = False
Dim Serie() As Double
Dim n, d, a As Integer
'TRANSPONEMOS LOS POSIBLES RESULTADOS PARA SU SIMLUACIÓN
i = Range("A4").End(xlDown).Row - 3
Range(Cells(4, 1), Cells(i + 3, 1)).Copy
Sheets("ARIMA").Select
Range(Cells(6, 2), Cells(6, i + 1)).PasteSpecial xlPasteValues, , True
Range(Cells(9, 2), Cells(9, i + 1)).PasteSpecial xlPasteValues, , True
Range(Cells(9, i + 4), Cells(9, i + 4 + i)).PasteSpecial xlPasteValues, , True
Range(Cells(9, i + 5 + i), Cells(9, i + 3 + i + i)).PasteSpecial xlPasteValues, , True
Cells(9, i + 2) = "RESIDUOS"
'ESTADISTICOS
Cells(9, i + 6 + i + i) = "SCR"
Cells(9, i + 7 + i + i) = "AKAIKE"
Cells(9, i + 8 + i + i) = "SCHWARZ"
Cells(9, i + 9 + i + i) = "DURBIN WATSON"
'COPIAMOS LA SERIE INTEGRADA
Sheets("DATOS-TABLAS").Select
n = Cells(1, 2)
d = Cells(1, 6)
a = d
ReDim Serie(1 To n - d)
For j = 1 To n - d
Serie(j) = Cells(4 + a + j, 5)
'a = 0
Next j
'PEGAMOS LA SERIE
Sheets("ARIMA").Select
For j = 1 To n - d
Cells(9 + j, 1) = Serie(j)
Next j
j = 1

```

'PONEMOS FORMULAS A CADA SERIE PARA SU SOLUCIÓN

```

While Cells(9, 1 + j) <> "" And Cells(9, 1 + j) <> "RESIDUOS"
'DIFERENCIAMOS ENTRE AR Y MA
If Left(Cells(9, 1 + j), 2) = "AR" Then
'NUMERO DE REZAGOS
a = Mid(Cells(9, 1 + j), 4, 2)
For w = 1 To a
Cells(9 + w, 1 + j) = 0
Next w
For Y = 1 To n - d - a
Cells(9 + Y + w - 1, 1 + j) = Serie(Y)
Next Y
Else
'NUMERO DE REZAGOS
a = Mid(Cells(9, 1 + j), 4, 2)
For w = 1 To a
Cells(9 + w, 1 + j) = 0
Next w
For Y = 1 To n - d - a
Cells(9 + Y + w - 1, 1 + j).FormulaLocal = "=" & Cells(9 + Y, i + 2).Address & ""
Next Y
End If
j = j + 1
Wend
Range("C4").FormulaLocal = "=SUMA.CUADRADOS(" & Cells(10, i + 2).Address & ":" & Cells(9 + n -
d, i + 2).Address & ")"
Range("C2") = n - d
Range("G2") = i + 2
Range("G3") = d
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
*****
**
'SE EJECUTA EL PROGRAMA
Sub Rectángulo1_Haga_clic_en()
ARIMA_Solver
End Sub
*****
**
'CALCULAMOS LOS ESTIMADORES DE MINIMOS CUADRADOS PARA CADA MODELO
IDENTIFICADO
Private Sub ARIMA_Solver()
Application.ScreenUpdating = False
Dim match As Integer
Dim r, Model() As String
n_sim = Range("E2")
e = Cells(2, 7)
d = Range("G3")
'LA SIMULACIÓN
For z = 1 To n_sim
'FORMULA RESIDUOS
'CARGAMOS EL MODELO

```

```

c = Sheets("# MODELOS").Cells(3 + z, 3)
ReDim Model(1 To c)
For k = 1 To c
Model(k) = Sheets("# MODELOS").Cells(3 + z + a, 3 + k)
Next k
'ARMAMOS EL MODELO
For n = 1 To Cells(2, 3)
For k = 1 To c
If Left(Model(k), 2) = "AR" Then
match = Application.match(Model(k), Range("" & Cells(6, 2).Address & ":" & Cells(6, 12).Address), 0)
r = r & "-" & Cells(n + 9, match + 1).Address & "*" & Cells(7, match + 1).Address
Else
If Mid(Model(k), 4, 2) - n < 0 Then
match = Application.match(Model(k), Range("" & Cells(6, 2).Address & ":" & Cells(6, 12).Address), 0)
r = r & "-" & Cells(n + 9 - Mid(Model(k), 4, 2), e).Address & "*" & Cells(7, match + 1).Address
End If
End If
Next k
Cells(n + 9, e).FormulaLocal = "=" & Cells(n + 9, 1).Address & r
r = ""
Next n
'SOLVER
SolverReset
SolverOptions AssumeNonNeg:=True
SolverOk SetCell:="$C$4", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:= "" & Cells(7, 2).Address & ":" &
Cells(7, e - 1).Address & "", Engine:=1
SolverSolve UserFinish:=True
'MINIMOS CUADRADOS ORDINARIOS
coef = c
m = 1 ' IMPRIME SOLO VALORES DE UN MODELO
'CARGAMOS LOS VALORES
ReDim X(1 To Cells(2, 3), 1 To c)
ReDim Y(1 To Cells(2, 3), 1 To 1)
For n = 1 To Cells(2, 3)
For k = 1 To c
match = Application.match(Model(k), Range("" & Cells(6, 2).Address & ":" & Cells(6, 12).Address), 0)
X(n, k) = Cells(9 + n, match + 1)
Next k
Y(n, 1) = Cells(9 + n, 1)
Next n
n = Cells(2, 3)
Minimos_Cuadrados_ARIMA
'IMPRIMIR VALORES
For i = 1 To c
match = Application.match(Model(i), Range("" & Cells(6, 2).Address & ":" & Cells(6, 12).Address), 0)
'VALORES DE BETA
'Cells(9 + z, e + 1 + match) = BETA(i, 1) ***** NO QUEREMOS LOS RESULTADOS DE MCO
Cells(9 + z, e + 1 + match) = Cells(7, match + 1)

'ERRORES
Cells(9 + z, e + e + match) = EE(i, 1)
'OTROS

```


Next i

i = 1

'SCR

Cells(9 + z, e + e + e) = SCR(i)

'ESTADISTICO AKAIKE

Cells(9 + z, e + e + e + 1) = AKAIKE(i)

'ESTADISTICO SCHWARZ

Cells(9 + z, e + e + e + 2) = SCHWARZ(i)

'DURBIN WATSON

Cells(9 + z, e + e + e + 3) = DURBIN(i)

Range(Cells(7, 2), Cells(7, e - 1)).ClearContents

Range(Cells(7, 2), Cells(7, e - 1)) = 0

Next z

Application.ScreenUpdating = True

End Sub



ANEXO A 2 - PRECIOS LOCALES E INTERNACIONALES

Cuadro A.2: Bolivia: Cuadro de Precios de Aceite Crudo y Harina de Soya, 2017

Periodo	Precio Aceite Crudo de Exportación Pae (Bs/Tm)	Precio Aceite Crudo Pa (Bs/Tm)	Precio Harina de Soya de Exportación Phe (Bs/Tm)	Precio Harina de Soya Ph (Bs/Tm)	Precio Grano de Soya de Exportación Pge (Bs/Tm)	Precio Grano de Soya Pg (Bs/Tm)
ene-00	2,833.82	1,490.82	1,230.75	681.75	0.00	909.19
feb-00	2,866.66	1,525.66	1,249.90	728.90	0.00	909.19
mar-00	2,836.69	1,423.69	1,263.24	759.24	0.00	909.19
abr-00	2,948.23	1,609.23	1,273.36	702.36	0.00	909.19
may-00	2,984.78	1,534.78	1,311.46	737.46	0.00	909.19
jun-00	2,741.51	1,323.51	1,307.15	729.15	0.00	909.19
jul-00	2,855.39	1,388.39	1,292.71	760.71	0.00	974.40
ago-00	2,623.77	1,316.77	1,301.35	734.35	0.00	974.40
sep-00	2,453.17	1,110.17	1,466.17	958.17	0.00	974.40
oct-00	2,320.94	869.94	1,474.61	892.61	0.00	974.40
nov-00	2,336.29	836.29	1,417.66	837.66	0.00	974.40
dic-00	2,418.36	922.36	1,431.20	910.20	0.00	974.40
ene-01	2,260.31	959.31	1,516.33	946.33	0.00	895.12
feb-01	2,413.63	938.63	1,443.51	923.51	0.00	895.12
mar-01	2,239.87	853.87	1,370.64	853.64	0.00	895.12
abr-01	1,950.00	617.00	1,556.93	978.93	0.00	895.12
may-01	2,343.39	877.39	1,428.42	865.42	0.00	895.12
jun-01	2,345.64	1,023.64	1,539.49	994.49	0.00	895.12
jul-01	2,673.96	1,296.96	1,562.25	1,039.25	0.00	895.12
ago-01	2,676.44	1,347.44	1,468.45	964.45	0.00	895.12
sep-01	2,837.70	1,532.70	1,591.45	1,060.45	0.00	895.12
oct-01	2,742.58	1,351.58	1,384.46	787.46	0.00	895.12
nov-01	2,628.76	1,213.76	1,417.02	883.02	0.00	895.12
dic-01	2,923.01	1,441.01	1,373.34	815.34	0.00	895.12
ene-02	2,997.54	1,624.54	1,410.02	870.02	0.00	737.76
feb-02	3,024.26	1,536.26	1,425.54	848.54	0.00	737.76
mar-02	3,092.23	1,722.23	1,550.09	1,004.09	0.00	737.76
abr-02	2,768.80	1,422.80	1,628.60	1,051.60	0.00	737.76
may-02	2,901.99	1,470.99	1,632.95	1,114.95	0.00	737.76
jun-02	2,851.80	1,541.80	1,639.14	1,118.14	0.00	737.76
jul-02	2,824.80	1,504.80	1,580.58	1,016.58	0.00	1,001.81
ago-02	2,861.35	1,488.35	1,564.77	967.77	0.00	1,001.81
sep-02	3,070.92	1,678.92	1,553.76	961.76	0.00	1,001.81
oct-02	2,796.47	1,449.47	1,592.69	998.69	0.00	1,001.81
nov-02	3,466.67	2,123.67	1,761.30	1,174.30	0.00	1,001.81
dic-02	3,873.80	2,488.80	1,732.71	1,171.71	0.00	1,001.81
ene-03	3,633.09	2,215.09	1,813.59	1,219.59	0.00	772.56

feb-03	3,640.12	2,340.12	1,923.80	1,384.80	0.00	772.56
mar-03	3,673.43	2,256.43	2,035.28	1,506.28	0.00	772.56
abr-03	3,842.04	2,482.04	1,854.95	1,303.95	0.00	772.56
may-03	3,775.04	2,392.04	1,920.10	1,398.10	0.00	772.56
jun-03	3,884.20	2,564.20	1,909.21	1,323.21	0.00	772.56
jul-03	3,842.34	2,362.34	1,895.02	1,367.02	0.00	1,237.00
ago-03	3,919.62	2,572.62	1,898.36	1,364.36	0.00	1,237.00
sep-03	3,822.29	2,363.29	1,906.27	1,379.27	0.00	1,237.00
oct-03	3,913.28	2,601.28	1,884.67	1,300.67	0.00	1,237.00
nov-03	3,937.01	2,552.01	1,954.22	1,450.22	0.00	1,237.00
dic-03	4,047.53	2,647.53	2,030.33	1,449.33	0.00	1,237.00
ene-04	4,085.89	2,664.89	1,933.36	1,343.36	0.00	835.20
feb-04	3,967.94	2,590.94	2,231.97	1,725.97	0.00	835.20
mar-04	4,629.32	3,244.32	2,218.16	1,630.16	0.00	835.20
abr-04	4,745.00	3,319.00	2,281.84	1,719.84	0.00	835.20
may-04	4,636.71	3,181.71	2,368.43	1,777.43	0.00	835.20
jun-04	4,608.48	3,171.48	2,639.51	2,055.51	0.00	835.20
jul-04	4,631.74	3,164.74	2,572.82	2,059.82	0.00	1,467.70
ago-04	4,453.60	2,958.60	2,579.52	2,005.52	0.00	1,467.70
sep-04	4,454.99	3,010.99	2,192.61	1,657.61	0.00	1,467.70
oct-04	4,389.86	2,924.86	2,020.91	1,515.91	0.00	1,467.70
nov-04	4,398.59	3,057.59	1,853.79	1,283.79	0.00	1,467.70
dic-04	4,274.84	2,788.84	1,720.05	1,149.05	0.00	1,467.70
ene-05	4,381.67	3,047.67	1,642.93	1,075.93	0.00	737.76
feb-05	4,213.77	2,770.77	1,712.21	1,185.21	0.00	737.76
mar-05	4,139.55	2,665.55	1,827.97	1,273.97	0.00	737.76
abr-05	4,127.98	2,793.98	1,773.38	1,205.38	0.00	737.76
may-05	4,123.45	2,683.45	1,727.41	1,178.41	0.00	737.76
jun-05	4,039.18	2,619.18	1,776.28	1,255.28	0.00	737.76
jul-05	3,965.09	2,582.09	1,905.40	1,359.40	0.00	1,183.57
ago-05	3,860.08	2,545.08	1,940.90	1,363.90	0.00	1,183.57
sep-05	4,179.96	2,767.96	1,993.59	1,433.59	0.00	1,183.57
oct-05	4,197.04	2,763.04	1,988.50	1,456.50	0.00	1,183.57
nov-05	4,025.07	2,615.07	1,777.15	1,208.15	0.00	1,183.57
dic-05	3,848.45	2,501.45	2,011.37	1,467.37	0.00	1,183.57
ene-06	3,742.00	2,265.00	1,987.45	1,392.45	0.00	758.64
feb-06	3,695.95	2,261.95	2,054.29	1,484.29	0.00	758.64
mar-06	3,719.17	2,260.17	2,004.94	1,446.94	0.00	758.64
abr-06	3,865.22	2,427.22	1,758.96	1,198.96	0.00	758.64
may-06	3,932.57	2,503.57	1,764.51	1,185.51	0.00	758.64
jun-06	3,953.53	2,496.53	1,836.69	1,284.69	0.00	758.64
jul-06	4,181.58	2,688.58	1,953.90	1,393.90	0.00	1,153.44
ago-06	4,139.15	2,798.15	2,067.18	1,468.18	0.00	1,153.44
sep-06	4,130.94	2,663.94	2,089.06	1,498.06	0.00	1,153.44
oct-06	4,341.25	2,992.25	2,095.39	1,555.39	0.00	1,153.44
nov-06	4,505.30	3,179.30	2,165.38	1,587.38	0.00	1,153.44
dic-06	4,573.39	3,241.39	2,159.86	1,597.86	0.00	1,153.44
ene-07	4,131.95	2,655.95	2,149.75	1,568.75	0.00	772.56

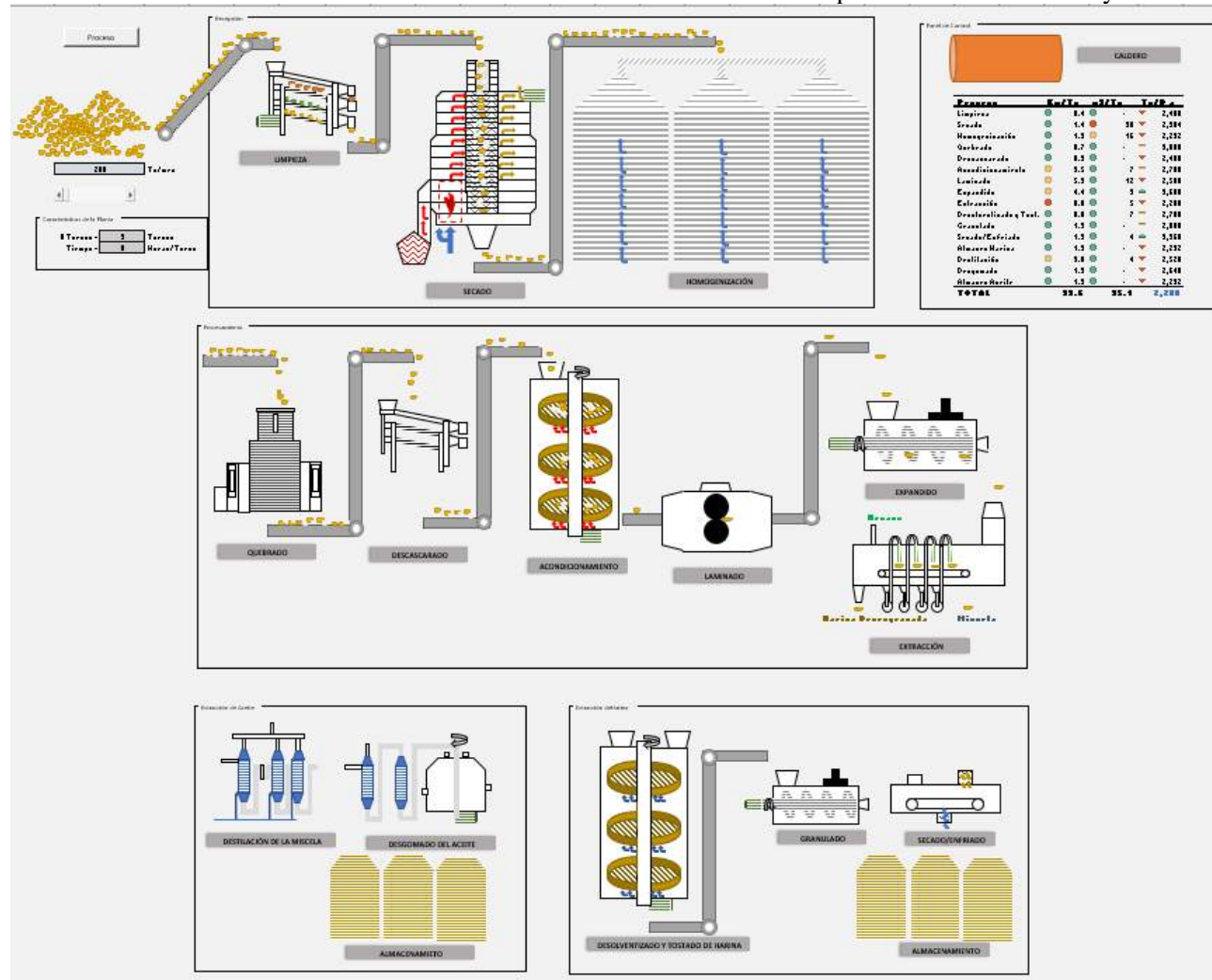
feb-07	4,052.24	2,749.24	2,355.96	1,841.96	0.00	772.56
mar-07	4,201.42	2,784.42	2,388.66	1,877.66	0.00	772.56
abr-07	4,647.73	3,234.73	2,173.75	1,640.75	0.00	772.56
may-07	4,822.01	3,448.01	2,143.08	1,579.08	0.00	772.56
jun-07	5,047.05	3,688.05	2,083.71	1,494.71	0.00	772.56
jul-07	5,359.67	3,958.67	2,097.50	1,584.50	0.00	1,600.80
ago-07	5,217.21	3,891.21	2,098.59	1,517.59	0.00	1,600.80
sep-07	5,756.65	4,415.65	2,113.58	1,518.58	0.00	1,600.80
oct-07	5,725.59	4,398.59	2,174.55	1,598.55	0.00	1,600.80
nov-07	6,991.71	5,526.71	2,307.55	1,780.55	0.00	1,600.80
dic-07	4,918.36	3,482.36	2,549.65	1,982.65	0.00	1,600.80
ene-08	6,142.86	4,776.86	2,694.53	2,191.53	0.00	1,600.80
feb-08	6,410.19	4,981.19	2,847.18	2,255.18	0.00	1,600.80
mar-08	6,314.36	4,860.36	3,600.77	3,038.77	0.00	1,600.80
abr-08	9,749.04	8,341.04	3,651.89	3,089.89	0.00	1,600.80
may-08	8,213.43	6,748.43	3,485.01	2,935.01	0.00	1,600.80
jun-08	8,268.96	6,932.96	3,448.85	2,848.85	0.00	1,600.80
jul-08	9,051.25	7,703.25	3,514.08	2,934.08	0.00	1,600.80
ago-08	8,465.11	7,054.11	3,500.25	2,927.25	0.00	1,600.80
sep-08	8,813.93	7,474.93	3,539.80	2,993.80	0.00	1,600.80
oct-08	7,718.21	6,235.21	3,300.53	2,743.53	0.00	1,600.80
nov-08	7,491.64	6,010.64	2,822.95	2,236.95	0.00	1,600.80
dic-08	4,641.82	3,248.82	2,602.25	2,072.25	0.00	1,600.80
ene-09	5,336.43	3,906.43	2,546.04	1,948.04	0.00	1,044.00
feb-09	4,340.63	2,942.63	2,562.93	1,963.93	0.00	1,044.00
mar-09	4,368.41	3,053.41	2,399.75	1,826.75	0.00	1,044.00
abr-09	4,865.19	3,466.19	2,425.64	1,850.64	0.00	1,044.00
may-09	5,235.55	3,856.55	2,518.59	2,015.59	0.00	1,044.00
jun-09	5,477.86	4,033.86	2,761.91	2,259.91	0.00	1,044.00
jul-09	5,432.73	4,078.73	2,682.37	2,158.37	0.00	1,336.78
ago-09	5,337.61	3,903.61	2,599.73	2,038.73	0.00	1,336.78
sep-09	5,432.97	4,052.97	2,599.34	2,043.34	0.00	1,336.78
oct-09	5,436.11	4,130.11	2,642.45	2,071.45	0.00	1,336.78
nov-09	5,566.92	4,172.92	2,661.71	2,085.71	0.00	1,336.78
dic-09	5,461.64	3,980.64	2,751.84	2,248.84	0.00	1,336.78
ene-10	5,734.10	4,250.10	2,810.30	2,259.30	0.00	1,962.72
feb-10	5,574.26	4,183.26	2,899.81	2,381.81	0.00	1,962.72
mar-10	5,746.31	4,276.31	2,712.27	2,121.27	0.00	1,962.72
abr-10	5,350.84	3,946.84	2,585.01	2,022.01	0.00	1,962.72
may-10	5,380.64	3,884.64	2,596.26	2,096.26	0.00	1,962.72
jun-10	5,080.57	3,638.57	2,604.91	2,004.91	0.00	1,962.72
jul-10	5,365.54	3,879.54	2,644.96	2,117.96	0.00	2,227.20
ago-10	5,480.48	4,113.48	2,587.11	2,019.11	0.00	2,227.20
sep-10	6,338.93	4,852.93	2,610.97	2,015.97	0.00	2,227.20
oct-10	6,434.40	5,095.40	2,693.48	2,147.48	0.00	2,227.20
nov-10	6,979.56	5,620.56	2,884.42	2,302.42	0.00	2,227.20
dic-10	7,415.95	6,026.95	3,159.93	2,577.93	0.00	2,227.20
ene-11	8,444.22	6,993.22	3,360.96	2,764.96	0.00	2,923.20

feb-11	8,165.60	6,669.60	3,520.06	2,927.06	0.00	2,923.20
mar-11	9,342.16	7,944.16	3,497.17	2,970.17	0.00	2,923.20
abr-11	7,830.64	6,408.64	3,566.19	3,044.19	0.00	2,923.20
may-11	8,035.35	6,682.35	3,416.81	2,868.81	0.00	2,923.20
jun-11	8,408.79	7,028.79	3,712.36	3,175.36	0.00	2,923.20
jul-11	8,137.46	6,735.46	3,349.40	2,794.40	0.00	2,227.20
ago-11	8,013.42	6,596.42	3,392.17	2,825.17	0.00	2,227.20
sep-11	8,210.45	6,867.45	3,423.19	2,836.19	0.00	2,227.20
oct-11	7,646.61	6,201.61	3,288.03	2,703.03	0.00	2,227.20
nov-11	7,731.44	6,364.44	3,193.78	2,637.78	0.00	2,227.20
dic-11	7,807.25	6,503.25	3,081.37	2,533.37	0.00	2,227.20
ene-12	7,502.54	6,083.54	2,990.06	2,427.06	3,138.19	2,749.20
feb-12	7,825.30	6,337.30	2,960.82	2,424.82	3,033.19	2,749.20
mar-12	7,828.37	6,438.37	2,879.51	2,366.51	3,068.12	2,749.20
abr-12	7,994.96	6,577.96	3,018.89	2,461.89	3,393.30	2,749.20
may-12	7,878.46	6,521.46	3,111.85	2,592.85	3,430.32	2,749.20
jun-12	7,930.26	6,599.26	3,223.64	2,675.64	3,338.57	2,749.20
jul-12	7,721.26	6,366.26	3,563.05	2,983.05	3,469.81	2,582.16
ago-12	7,570.40	6,230.40	3,507.82	2,938.82	3,793.13	2,582.16
sep-12	7,358.88	6,041.88	3,642.29	3,059.29	3,931.04	2,582.16
oct-12	7,445.29	6,123.29	3,705.69	3,111.69	3,737.67	2,582.16
nov-12	7,098.58	5,701.58	3,638.51	3,092.51	3,516.08	2,582.16
dic-12	7,545.94	6,111.94	3,668.09	3,139.09	3,526.38	2,582.16
ene-13	7,199.69	5,771.69	3,574.59	3,013.59	3,451.02	2,436.00
feb-13	7,448.55	5,986.55	3,594.44	3,070.44	3,351.29	2,436.00
mar-13	6,865.00	5,447.00	3,568.61	3,028.61	3,381.24	2,436.00
abr-13	6,368.05	5,068.05	3,305.21	2,803.21	3,142.88	2,436.00
may-13	6,359.49	4,861.49	3,180.03	2,632.03	2,981.93	2,436.00
jun-13	6,308.50	4,829.50	3,183.80	2,639.80	3,087.88	2,436.00
jul-13	5,988.73	4,611.73	3,187.21	2,590.21	3,054.31	2,589.12
ago-13	5,989.38	4,670.38	3,187.82	2,681.82	2,928.49	2,589.12
sep-13	5,690.58	4,272.58	3,123.26	2,549.26	3,035.81	2,589.12
oct-13	5,671.50	4,187.50	3,088.90	2,570.90	3,005.74	2,589.12
nov-13	5,953.46	4,471.46	3,111.03	2,586.03	3,168.52	2,589.12
dic-13	5,958.41	4,605.41	3,178.87	2,616.87	3,161.15	2,589.12
ene-14	5,768.86	4,382.86	3,121.87	2,551.87	3,316.72	1,252.80
feb-14	5,434.03	3,971.03	3,384.82	2,834.82	3,355.14	1,252.80
mar-14	5,382.56	4,050.56	3,439.57	2,870.57	3,453.23	1,252.80
abr-14	5,507.46	4,080.46	3,535.81	2,938.81	3,398.90	1,252.80
may-14	5,486.31	4,014.31	3,552.34	2,979.34	3,297.96	1,252.80
jun-14	5,460.38	4,148.38	3,571.44	3,051.44	3,380.73	1,252.80
jul-14	5,440.98	4,050.98	3,470.57	2,878.57	3,436.04	2,505.60
ago-14	5,379.89	4,038.89	3,321.35	2,776.35	3,486.50	2,505.60
sep-14	5,153.90	3,795.90	3,207.88	2,684.88	3,030.56	2,505.60
oct-14	5,075.79	3,657.79	3,099.52	2,594.52	3,413.21	2,505.60
nov-14	5,301.62	3,837.62	3,078.88	2,493.88	3,351.73	2,505.60
dic-14	5,165.48	3,757.48	3,064.59	2,503.59	3,204.55	2,505.60
ene-15	5,277.93	3,850.93	3,215.56	2,710.56	0.00	2,227.20

feb-15	4,983.97	3,616.97	3,080.55	2,522.55	0.00	2,227.20
mar-15	4,640.72	3,274.72	2,924.96	2,362.96	0.00	2,227.20
abr-15	4,406.94	2,988.94	2,840.92	2,332.92	0.00	2,227.20
may-15	4,478.66	3,013.66	2,829.04	2,313.04	0.00	2,227.20
jun-15	4,548.13	3,066.13	2,610.85	2,083.85	3,855.12	2,227.20
jul-15	4,644.48	3,245.48	2,580.55	1,993.55	3,169.06	1,809.60
ago-15	4,344.82	3,031.82	2,471.53	1,884.53	3,586.12	1,809.60
sep-15	4,362.01	3,044.01	2,550.16	2,049.16	3,513.53	1,809.60
oct-15	4,186.29	2,762.29	2,504.99	1,906.99	2,949.80	1,809.60
nov-15	4,177.17	2,799.17	2,507.20	1,946.20	3,155.60	1,809.60
dic-15	4,369.15	2,890.15	2,488.28	1,984.28	2,928.83	1,809.60
ene-16	4,251.07	2,801.07	2,459.58	1,873.58	0.00	1,809.60
feb-16	4,560.87	3,180.87	2,441.47	1,887.47	0.00	1,809.60
mar-16	4,160.80	2,775.80	2,404.45	1,885.45	0.00	1,809.60
abr-16	4,539.65	3,084.65	2,308.58	1,782.58	0.00	1,809.60
may-16	4,500.78	3,148.78	2,415.55	1,885.55	0.00	1,809.60
jun-16	4,400.69	3,004.69	2,698.46	2,163.46	0.00	1,809.60
jul-16	4,436.59	3,010.59	2,949.66	2,377.66	0.00	2,213.28
ago-16	4,515.75	3,093.75	2,704.70	2,146.70	0.00	2,213.28
sep-16	5,053.87	3,619.87	2,670.66	2,114.66	0.00	2,213.28
oct-16	4,431.26	2,973.26	2,630.08	2,034.08	0.00	2,213.28
nov-16	4,767.19	3,467.19	2,638.20	2,136.20	0.00	2,213.28
dic-16	4,988.06	3,590.06	2,674.16	2,116.16	0.00	2,213.28
ene-17	5,171.99	3,860.99	2,682.14	2,179.14	0.00	1,994.04
feb-17	4,934.94	3,593.94	2,729.17	2,148.17	0.00	1,994.04
mar-17	4,649.34	3,271.34	2,738.85	2,146.85	0.00	1,994.04
abr-17	4,651.81	3,186.81	2,582.72	2,045.72	0.00	1,994.04
may-17	4,750.31	3,410.31	2,481.05	1,924.05	0.00	1,994.04
jun-17	4,638.71	3,233.71	2,461.40	1,943.40	0.00	1,994.04
jul-17	4,732.29	3,246.29	2,442.83	1,842.83	0.00	2,213.28
ago-17	4,737.38	3,341.38	2,500.68	1,974.68	0.00	2,213.28
sep-17	4,878.81	3,395.81	2,463.53	1,908.53	0.00	2,213.28
oct-17	4,704.39	3,223.39	2,508.31	1,995.31	0.00	2,213.28
nov-17	5,124.07	3,750.07	2,506.74	1,947.74	0.00	2,213.28
dic-17	4,898.69	3,531.69	2,567.01	2,036.01	0.00	2,213.28

Fuente: Elaboración con datos en base al Instituto Nacional de Comercio Exterior de Bolivia
Elaboración con datos en base al Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas
Elaboración con datos en base a la Bolsa de Chicago
Elaboración con datos en base a la Bolsa de Rosario (ROFEX)

ANEXO A 3 PROCESO DE PRODUCCIÓN: Elaboración del producto de aceite de soja



Fuente: Elaboración con datos en base del simulador del Proceso de Producción de Aceite y Harina de Soya

ANEXO A 4 - CAPACIDAD INSTALADA

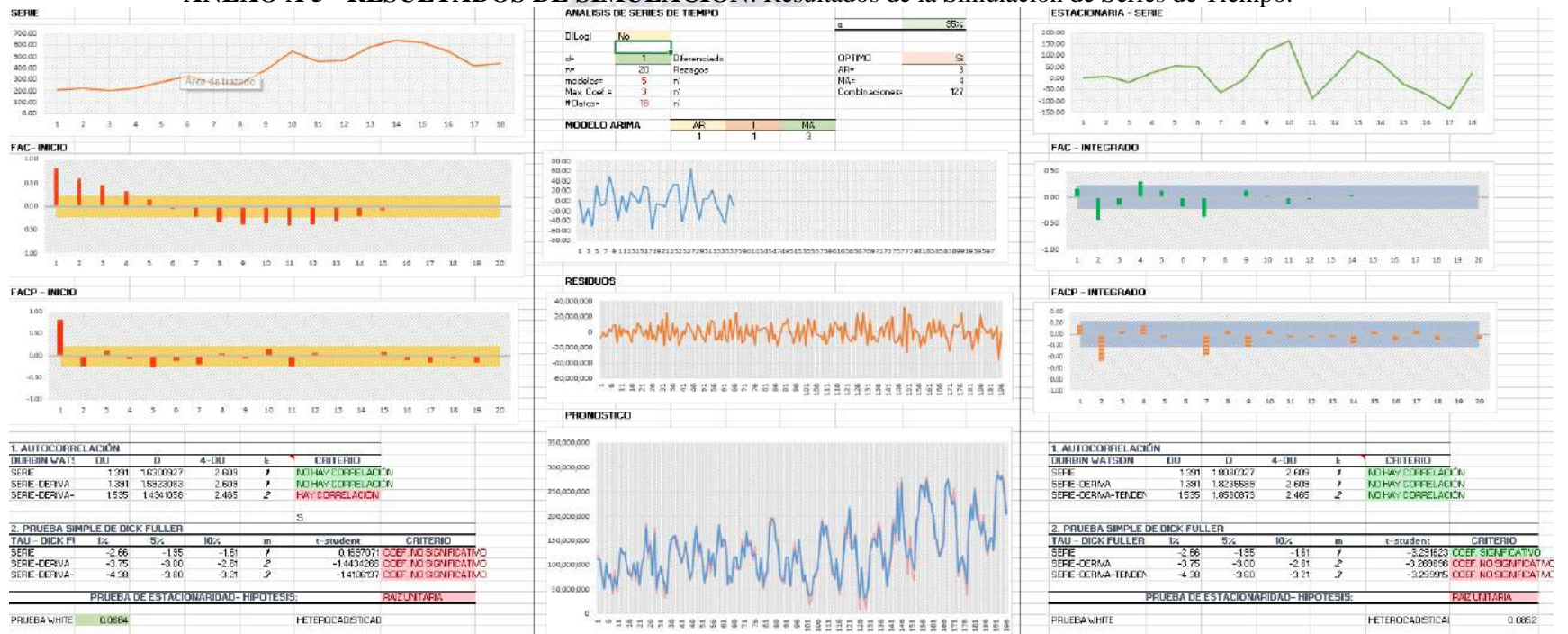
Cuadro A.4.: Empresa Soyera, Capacidad Instalada.,2018

Código	Descripción	Especificaciones Técnicas	N	Unid.	Capacidad
100	TRANSPORTE MECANICO				
101	Elevadores de cangilones	Cangilón de polietileno de alta densidad.	3	Tn/Hr	1500
102	Roscas transportadora	Diámetro de Rosca 125 mm- Alto 75 mm	2	Tn/hr	1400
103	Alimentador Helicoidal	Cuerpo tubular de 114 [mm] de diámetro, Accionamiento mediante moto reductor en baño de aceite de 2[cv]	1	Tn/Hr	2000
104	Ventilador	7,5 Kw - 50 Hz - A 26,8/15,5	2	Tn/hr	100
105	Tubo de Gas	Ps 2,8 Kpa - Pe 5 Tnf/cm2	1	Tn/hr	12
200	ALMACENAMIENTO				
201	Silos	Silos metálicos de chapa galvanizada, tiene una capacidad máxima 120 Tn.	6	Tn	120
202	Silo Pulmón Interno	Con visor lateral transparente, y construcción en chapa negra soldada, de 2 [mm] de espesor, con guillotina de cierre inferior y cuplas roscadas en el cuerpo para instalación de sensores de nivel.	6	Tn	4.5
203	Ciclón		1		
300	PRELIMPIEZA				
301	Zaranda	Accionamiento mediante correas y contrapeso excéntrico con transportes de interconexión	1	tn/Hr	4
400	QUEBRADOR				
401	Quebrador de Soya	Es un molino quebrador, con sistema de rolos dentados, fabricados en acero tratado térmicamente, montados sobre rodamientos oscilantes y soportes bipartidos	1	tn/hr	5
500	EXTRUCCIÓN				
501	Extrusora	Acero normalizado y mecanizado, con helicoides mecanizados de acero tratado térmicamente. Accionamiento mediante motor trifásico a 1500 RPM y transmisión a correas	1	Tn/Hr	1700

600	PRENSADO				
601	Prensa	Barras de cestos en acero SAE 1010 carbonitrurados, y helicoides de acero mecanizadas y endurecidas mediante aporte de metal duro. Accionamiento principal mediante motor eléctrico	1	tn/hr	2
700	VAPORIZADOR				
701	Vaporizador	0,25 Kw (84,698 RPM - D. Eje 30 mm)	1	Tn/hr	100
702	Caldero	40 PSI	1		
703	Ablandador	180 PSI	1		
704	Tanque de Gas	Presión de Diseño: 17,6 Tn/Cm2 - Presión de Prueba 23 Tn/Cm2	1	lt	2165

Fuente: Elaboración con datos en base a Gravetal Bolivia S.A.

ANEXO A 5 - RESULTADOS DE SIMULACIÓN: Resultados de la Simulación de Series de Tiempo.



Fuente: Elaboración con datos en base a los Algoritmos de Estimación de Series de Tiempo.



ANEXO B.

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

ANEXO B 1 - BOLIVIA: Matriz Insumo – Producto (Expresado en Mil Millones de Bs), 2012³⁰

OFERTA			SECTORES DE PRODUCCIÓN	SECTORES DE COMPRA																DEMANDA		
TOT	PRO	IMP		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	VEN	DEM	TOT
24.4	20.3	4.1	AGRICOLA	2.2	0.1	0.3	8.4	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.5	0.0	12.6	11.8	24.4
7.3	6.4	0.9	PRODUCTOS AGRICOLAS INDUSTRIALES	0.1	1.4	0.0	0.8	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	-0.5	7.3
92.1	67.3	24.8	EXTRACCIÓN DE MINAS Y GAS	0.0	0.0	14.7	8.8	0.5	0.8	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	66.1	92.1
144.7	57.4	87.3	IND. MANUFACT,	1.7	0.7	13.9	15.7	1.3	0.8	6.4	1.3	9.8	0.8	0.7	2.9	4.0	0.0	3.9	0.0	64.0	80.8	144.7
13.9	10.3	3.6	PRODUCTOS ALIMENTICIOS DIVERSOS	1.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	2.2	11.7	13.9
6.2	5.5	0.7	ELECTRICIDAD	0.0	0.0	0.6	0.9	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.4	0.0	3.0	3.2	6.2
15.3	14.0	1.2	CONSTRUCCIÓN	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	14.9	15.3
0.0	21.9	-21.9	COMERCIO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34.9	28.7	6.1	TRANSPORTE	0.5	0.8	7.2	2.7	0.5	0.1	0.2	6.4	0.6	0.5	0.4	0.1	0.2	0.0	0.7	0.0	20.8	14.1	34.9
11.9	10.9	0.9	ESTAB. FINANCIEROS	0.1	0.1	0.1	0.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.6	0.2	0.0	0.1	0.0	0.4	6.8	9.2	2.7	11.9
14.2	10.9	3.3	SERVICIOS EMPRESAS	0.1	0.3	2.9	0.5	0.0	0.1	0.3	0.5	1.2	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	1.3	0.0	8.7	5.5	14.2
11.4	9.7	1.7	SERVICIOS COMUNALES	0.0	0.0	0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	1.4	0.3	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	3.2	8.1	11.4
11.7	9.1	2.6	RESTAURANTES	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	1.5	10.2	11.7
0.8	0.8	0.0	SERVICIOS DOMESTICAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8
28.9	28.9	0.0	ADMINI. PUBLICA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9	28.9
0.1	0.0	0.1	COMPRAS DIRECTAS DE OTROS BIENES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4	-0.3	0.1
417.7	302.0	115.7	COMPRAS INTERMEDIAS	5.6	3.4	40.1	39.8	8.4	1.8	8.7	8.9	13.4	3.4	2.2	3.8	5.0	0.0	8.4	6.8	159.8	257.9	417.7
			VALOR AGREGADO	14.7	3.0	27.1	17.6	1.9	3.6	5.3	13.1	15.3	7.6	8.6	5.8	4.1	0.8	20.4	-6.8	142.2		
417.7	302.0	115.7	VALOR BRUTA DE LA PRODUCCIÓN	20.3	6.4	67.3	57.4	10.3	5.5	14.0	21.9	28.7	10.9	10.9	9.7	9.1	0.8	28.9	0.0	302.0	257.9	417.7

Fuente: Elaboración datos en base al Instituto Nacional de Estadísticas.

³⁰ Sectores de compra: **A:** Agrícola; **B:** Productos Agrícolas Industriales; **C:** Extracción de Minas y Gas; **D:** Industria Manufacturera; **E:** Productos Alimenticios Diversos; **F:** Electricidad; **G:** Construcción; **H:** Comercio; **I:** Transporte; **J:** Establecimientos Financieros; **K:** Servicios Empresas; **L:** Servicios Comunales; **M:** Restaurantes; **N:** Servicios Domesticas; **O:** Administración Pública; **P:** Imputaciones Financieras

ANEXO B 2 - MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL: Cálculo del Producto Interno Bruto, 2012³¹

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
MAX (z)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
302.01	20	6	67	57	10	5	14	22	29	11	11	10	9	1	29	0

Sujeta a:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	L.I.	-	L.D.
I-A=	0.89	-0.01	-0.01	-0.15	-0.02	0.00	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.04	0.00	-0.02	0.00	8	<=	8
	0.00	0.78	0.00	-0.01	-0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1	<=	-1
	0.00	0.00	0.78	-0.15	-0.05	-0.15	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41	<=	41
	-0.08	-0.11	-0.21	0.73	-0.13	-0.14	-0.46	-0.06	-0.34	-0.08	-0.07	-0.30	-0.44	0.00	-0.14	0.00	-7	<=	-7
	-0.05	0.00	0.00	-0.02	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00	8	<=	8
	0.00	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	0.99	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	0.00	3	<=	3
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	1.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14	<=	14
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22	<=	22
	-0.02	-0.12	-0.11	-0.05	-0.05	-0.01	-0.02	-0.29	0.98	-0.04	-0.04	-0.01	-0.02	0.00	-0.02	0.00	8	<=	8
	0.00	-0.02	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.94	-0.02	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	9	<=	9
	0.00	-0.05	-0.04	-0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.04	-0.08	0.96	-0.02	-0.01	0.00	-0.05	0.00	2	<=	2
	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.05	-0.02	-0.01	0.98	0.00	0.00	-0.01	0.00	6	<=	6
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	1.00	0.00	-0.02	0.00	8	<=	8
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1	<=	1
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	29	<=	29
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	1.00	0	<=	0

Fuente: Elaboración con datos en base a la Matriz Insumo Producto.

³¹ Sectores de compra: **A:** Agrícola; **B:** Productos Agrícolas Industriales; **C:** Extracción de Minas y Gas; **D:** Industria Manufacturera; **E:** Productos Alimenticios Diversos; **F:** Electricidad; **G:** Construcción; **H:** Comercio; **I:** Transporte; **J:** Establecimientos Financieros; **K:** Servicios Empresas; **L:** Servicios Comunales; **M:** Restaurantes; **N:** Servicios Domesticas; **O:** Administración Pública; **P:** Imputaciones Financieras

ANEXO B 3 - RESULTADOS DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL: Cálculo del Producto Interno Bruto, 2012

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$E\$80	MAX (z)	302.01	302.01

Celda	Nombre	Valor original	Valor final	Entero
\$F\$80	A	20	20	Continuar
\$G\$80	B	6	6	Continuar
\$H\$80	C	67	67	Continuar
\$I\$80	D	57	57	Continuar
\$J\$80	E	10	10	Continuar
\$K\$80	F	5	5	Continuar
\$L\$80	G	14	14	Continuar
\$M\$80	H	22	22	Continuar
\$N\$80	I	29	29	Continuar
\$O\$80	J	11	11	Continuar
\$P\$80	K	11	11	Continuar
\$Q\$80	L	10	10	Continuar
\$R\$80	M	9	9	Continuar
\$S\$80	N	1	1	Continuar
\$T\$80	O	29	29	Continuar
\$U\$80	P	0	0	Continuar

Fuente: Elaboración con datos en base a la Matriz Insumo Producto.

ANEXO B 4 - PROGRAMA DE FUNCIONES DE IMPULSO RESPUESTA VBA

```
Sub Actualizar_Graficos()
Select Case Range("B6")
Case "Precio Exportación Aceite"
'FUNCION DE TRANSFERENCIA
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$O$7:$O$31"
'HISTORICO - PRONOSTICO
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$I$9:$I$222"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$E$9:$E$222"
'RAICES
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$K$7:$K$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$L$7:$L$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$M$7:$M$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$N$7:$N$14"
'ERROR
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$J$9:$J$222"
'ECUACIONES
Range("B32") = "P(t)=" & 1 + Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("C1"), 2) &
"*P(t-1)+" & _
    -Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("C1"), 2) & "*P(t-2)" & _
    Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("C3"), 2) & "*u(t-8)"
Case "Precio de Aceite"
'FUNCION DE TRANSFERENCIA
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$AH$7:$AH$31"
'HISTORICO - PRONOSTICO
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$AB$9:$AB$222"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$X$9:$X$222"
'RAICES
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$AD$7:$AD$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$AE$7:$AE$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$AF$7:$AF$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN"!$AG$7:$AG$14"
'ERROR
```

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AC\$9:\$AC\$222"
'ECUACIONES
Range("B32") = "P(t)=" & 1 + Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("V1"), 2) &
"*P(t-1)+" & _
-Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("V1"), 2) & "*P(t-2)" & _
Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("V3"), 2) & "*u(t-8)"

Case "Precio Exportación Harina"

'FUNCION DE TRANSFERENCIA

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AX\$7:\$AX\$31"
'HISTORICO - PRONOSTICO
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AR\$9:\$AR\$222"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AN\$9:\$AN\$222"
'RAICES

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AV\$7:\$AV\$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AW\$7:\$AW\$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AT\$7:\$AT\$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AU\$7:\$AU\$14"
'ERROR

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$AS\$9:\$AS\$222"
'ECUACIONES
Range("B32") = "P(t)=" & 1 + Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("AL1"), 2) &
"*P(t-1)+" & _
Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("AL1"), 2) & "*P(t-2)+u(t)"

Case "Precio de Harina"

'FUNCION DE TRANSFERENCIA

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$BQ\$7:\$BQ\$31"
'HISTORICO - PRONOSTICO
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$Bk\$9:\$Bk\$222"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$BG\$9:\$BG\$222"
'RAICES

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$BO\$7:\$BO\$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "=RESULTADOS DE ESTIMACIÓN!\$BP\$7:\$BP\$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR

ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$BM\$7:\$BM\$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$BN\$7:\$BN\$14"

'ERROR

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$BL\$9:\$BL\$222"

'ECUACIONES

Range("B32") = "P(t)=P(t-1)+ " & _

Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("BE1"), 2) & "*P(t-2)" & _

"-" & Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("BE1"), 2) & "*P(t-3)+u(t)"

Case "Precio Exportación Grano de Soya"

'FUNCION DE TRANSFERENCIA

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CJ\$7:\$CJ\$31"

'HISTORICO - PRONOSTICO

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CD\$9:\$CD\$222"

ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL

ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$BZ\$9:\$BZ\$222"

'RAICES

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA

ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CH\$7:\$CH\$14"

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CI\$7:\$CI\$14"

ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR

ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CF\$7:\$CF\$14"

ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CG\$7:\$CG\$14"

'ERROR

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CE\$9:\$CE\$222"

'ECUACIONES

Range("B32") = "P(t)=P(t-1)+ " & _

Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("BX1"), 2) & "*P(t-5)" & _

"+" & Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("BX1"), 2) & "*P(t-6)+u(t)"

Case "Precio Grano de Soya"

'FUNCION DE TRANSFERENCIA

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$DC\$7:\$DC\$31"

'HISTORICO - PRONOSTICO

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CW\$9:\$CW\$222"

ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL

ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$CS\$9:\$CS\$222"

'RAICES

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA

ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!\$DA\$7:\$DA\$14"


```

ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DB$7:$DB$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$CY$7:$CY$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$CZ$7:$CZ$14"
'ERROR
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$CX$9:$CX$222"
'ECUACIONES
Range("B32") = "P(t)=P(t-1)+" & _
    Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("CQ1"), 2) & "*P(t-6)" & _
    "+" & Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("CQ1"), 2) & "*P(t-7)+u(t)"
'*****
'*****
Case "Sector Agrícola"
'FUNCION DE TRANSFERENCIA
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DS$7:$DS$31"
'HISTORICO - PRONOSTICO
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DM$9:$DM$30"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DI$9:$DI$30"
'RAICES
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DQ$7:$DQ$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DR$7:$DR$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DO$7:$DO$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DP$7:$DP$14"
'ERROR
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DN$9:$DN$30"
'ECUACIONES
Range("B32") = "P(t)=P(t-1)" & _
    Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("DJ1"), 2) & "*P(t-2)" & _
    "+" & -Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("DJ1"), 2) & "*P(t-3)+u(t)"
Case "Sector Ind. Manufacturera"
'FUNCION DE TRANSFERENCIA
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EF$7:$EF$31"
'HISTORICO - PRONOSTICO
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DZ$9:$DZ$30"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$DV$9:$DV$30"

```


RAICES

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$ED$7:$ED$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EE$7:$EE$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EB$7:$EB$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EC$7:$EC$14"
```

ERROR

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EA$9:$EA$30"
```

ECUACIONES

```
Range("B32") = "P(t)=P(t-1)+ " & Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("DW3"),
2) & "*u(t-4)"
```

Case "Sector Prod. Alimen. Diversos"

FUNCION DE TRANSFERENCIA

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$ES$7:$ES$31"
```

HISTORICO - PRONOSTICO

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EM$9:$EM$30"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL
ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EI$9:$EI$30"
```

RAICES

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EQ$7:$EQ$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$ER$7:$ER$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EO$7:$EO$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EP$7:$EP$14"
```

ERROR

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EN$9:$EN$30"
```

ECUACIONES

```
Range("B32") = "P(t)=P(t-1)" & Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("EJ3"), 2) &
"*u(t-2)"
```

Case "Sector Restaurantes"

FUNCION DE TRANSFERENCIA

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$FF$7:$FF$31"
```

HISTORICO - PRONOSTICO

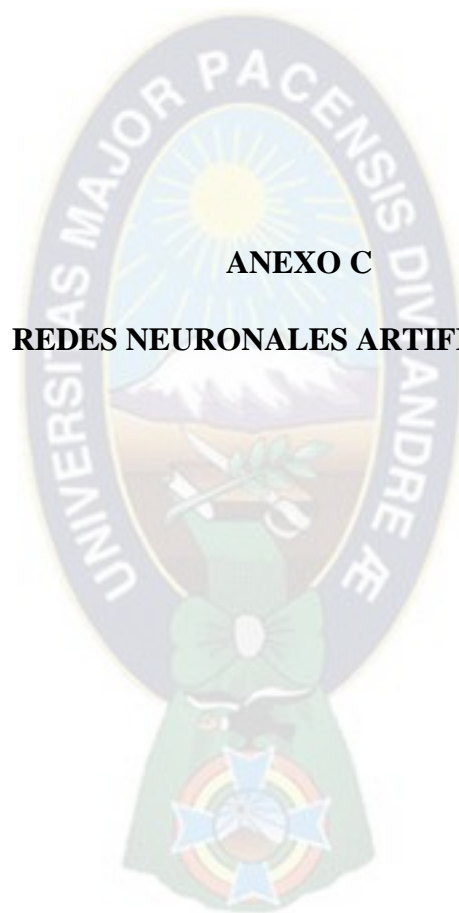
```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'ESTIMADO
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EZ$9:$EZ$30"
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select 'REAL
```

```

ActiveChart.SeriesCollection(2).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$EV$9:$EV$30"
'RAICES
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select 'MA
ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$FD$7:$FD$14"
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$FE$7:$FE$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Select 'AR
ActiveChart.SeriesCollection(3).XValues = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$FB$7:$FB$14"
ActiveChart.SeriesCollection(3).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$FC$7:$FC$14"
'ERROR
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = "='RESULTADOS DE ESTIMACIÓN'!$FA$9:$FA$30"
'ECUACIONES
Range("B32") = "P(t)=P(t-1)" & Round(Sheets("RESULTADOS DE ESTIMACIÓN").Range("EW3"), 2)
& "*u(t-Q)"
End Select
End Sub

```

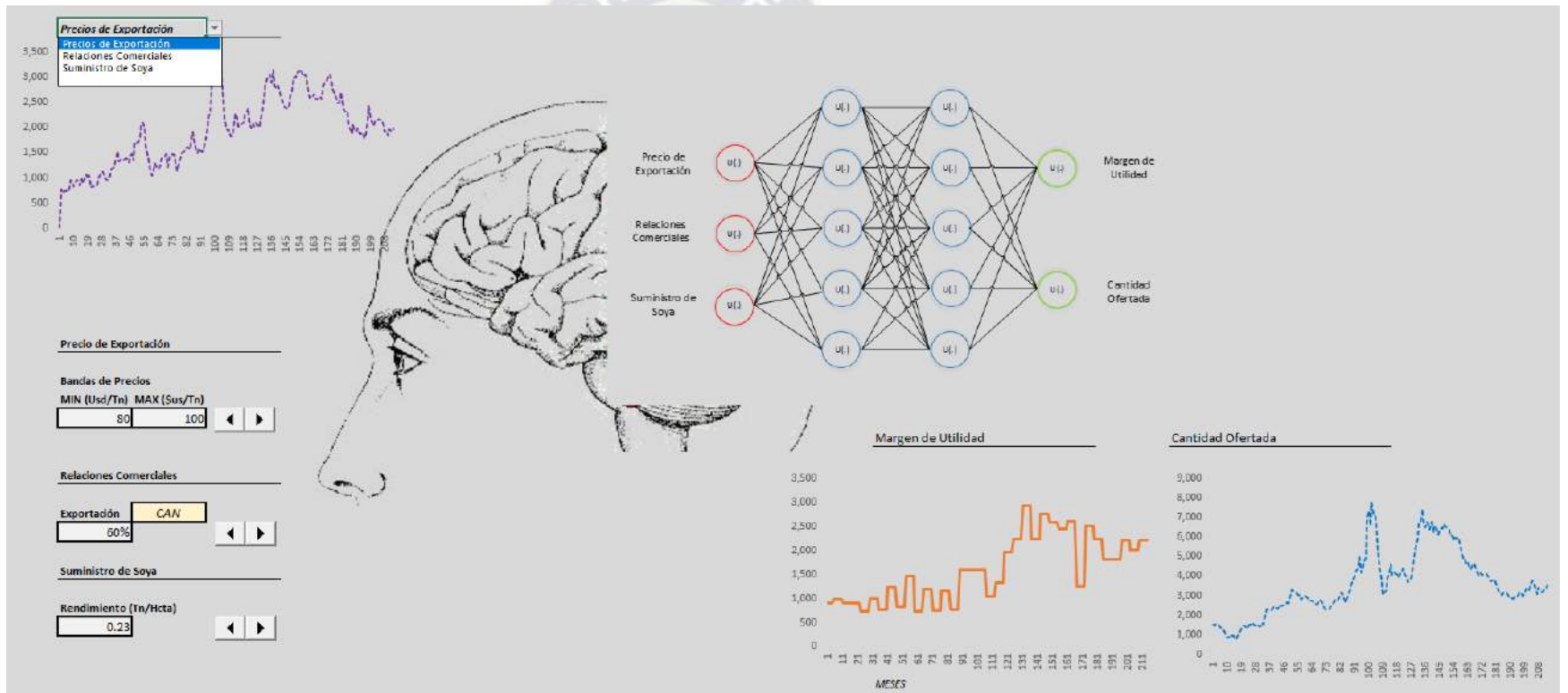




ANEXO C

REDES NEURONALES ARTIFICIALES

ANEXO C 1 - REDES NEURONALES: Diseño de la Red Neuronal



Fuente: Elaboración con base de datos en el Programa de Redes Neuronales

ANEXO C 2 - PROGRAMA DE REDES NEURONALES VBA

‘CARGADO DE DATOS DE LOS RESULTADOS DE MATLAB

Sub Cargado_Redес_Neuronales()

Dim Soya As ShapeRange

‘RECEPCIÓN

If Cells(1, 1) Mod 2 = 1 Then

‘PARES

```
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_2", "S_4", "S_6", "S_8", _
    "S_10", "S_12", "S_14", "S_16", "S_18", "S_20", "S_22", "S_24", "S_26", "S_28", "S_30", _
    "S_32", "S_34", "S_36", "S_38", "S_40", "S_42", "S_44", "S_46", "S_48", "S_50", "S_52", "S_54", "S_56", "S_58", "S_60", "S_62", "S_64", "S_66", "S_68", "S_70", "S_72", "S_74", "S_76", "S_78", "S_80", "S_82", "S_84", "S_86", "S_88", _
    "S_90", "S_92", "S_94", "S_96", "S_98", "S_100", "S_102", "S_104", "S_106", "S_108", "S_110", _
    "S_112", "S_114", "S_116", "S_118", "S_120", "S_122", "S_124", "S_126", "S_128", "S_130", "S_132", "S_134", "S_136", "S_138", "S_140", "S_142", _
    "S_144", "S_146", "S_148", "S_150", "S_152", "S_154", "S_156", "S_158", "S_160", "S_162", _
    "S_164", "S_166", "S_168", "S_170", "S_172", "S_174", "S_176", "S_178", "S_180", "S_182", "S_184", "S_186", "S_188", _
    "S_190", "S_192", "S_194", "S_196", "S_198", "S_200", "S_202", "S_204", "S_206", "S_208", "S_210", "S_212", _
    "S_214", "S_216", "S_218", "S_220", "S_222", "S_224", "S_226", "S_228", "S_230", "S_232", "S_234", "S_236", "S_238", "S_240", "S_242", "S_244", _
    "S_246", "S_248", "S_250", "S_252", "S_254", "S_256", "S_258", "S_260", "S_262", "S_264", "S_266", "S_268", "S_270", "S_272", _
    "S_274", "S_276", "S_278"))
```

Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)

Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(188, 140, 0)

‘IMPARES

```
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_1", "S_3", "S_5", "S_7", "S_9", "S_11", "S_13", "S_15", _
    "S_17", "S_19", "S_21", "S_23", "S_25", "S_27", "S_29", "S_31", "S_33", "S_35", "S_37", _
    "S_39", "S_41", "S_43", "S_45", "S_47", "S_49", "S_51", "S_53", "S_55", "S_57", "S_59", "S_61", "S_63", "S_65", "S_67", "S_69", "S_71", "S_73", "S_75", "S_77", "S_79", "S_81", "S_83", "S_85", "S_87", "S_89", _
    "S_91", "S_93", "S_95", "S_97", "S_99", "S_101", "S_103", "S_105", "S_107", "S_109", "S_111", _
    "S_113", "S_115", "S_117", "S_119", "S_121", "S_123", "S_125", "S_127", "S_129", "S_131", "S_133", "S_135", "S_137", "S_139", "S_141", "S_143", _
    "S_145", "S_147", "S_149", "S_151", "S_153", "S_155", "S_157", "S_159", "S_161", "S_163", "S_165", _
    "S_167", "S_169", "S_171", "S_173", "S_175", "S_177", "S_179", "S_181", "S_183", "S_185", "S_187", "S_189", _
    "S_191", "S_193", "S_195", "S_197", "S_199", "S_201", "S_203", "S_205", "S_207", "S_209", "S_211", "S_213", _
    "S_215", "S_217", "S_219", "S_221", "S_223", "S_225", "S_227", "S_229", "S_231", "S_233", "S_235", "S_237", "S_239", "S_241", "S_243", "S_245", _
    "S_247", "S_249", "S_251", "S_253", "S_255", "S_257", "S_259", "S_261", "S_263", "S_265", "S_267", "S_269", "S_271", "S_273", _
    "S_275", "S_277", "S_279", "S_281", "S_283", "S_285", "S_287", "S_289", "S_291", "S_293", "S_295", "S_297", "S_299", "S_301", "S_303", "S_305", "S_307", "S_309", "S_311", "S_313", "S_315", "S_317", "S_319", "S_321", "S_323", "S_325", "S_327", "S_329", "S_331", "S_333", "S_335", "S_337", "S_339", "S_341", "S_343", "S_345", "S_347", "S_349", "S_351", "S_353", "S_355", "S_357", "S_359", "S_361", "S_363", "S_365", "S_367", "S_369", "S_371", "S_373"))
```

Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(242, 242, 242)

Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(242, 242, 242)

```

Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_40", "S_42", "S_44", "S_46", "S_48", "S_50"))
Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(237, 125, 49)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(174, 90, 33)
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_52", "S_54", "S_56", "S_58", "S_60", "S_72"))
Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(112, 173, 71)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(80, 126, 50)
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_62", "S_64", "S_66", "S_68", "S_70"))
Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(188, 140, 0)
Else
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_2", "S_4", "S_6", "S_8", _
    "S_10", "S_12", "S_14", "S_16", "S_18", "S_20", "S_22", "S_24", "S_26", "S_28", "S_30", _
    "S_32", "S_34", "S_36", "S_38", "S_74", "S_76", "S_78", "S_80", "S_82", "S_84", "S_86",
"S_88", _
    "S_90", "S_92", "S_94", "S_96", "S_98", "S_100", "S_102", "S_104", "S_106", "S_108",
"S_110", _
    "S_112", "S_114", "S_116", "S_118", "S_120", "S_122", "S_124", "S_126", "S_128", "S_130",
"S_132", "S_134", "S_136", "S_138", "S_140", "S_142", _
    "S_144", "S_146", "S_148", "S_150", "S_152", "S_154", "S_154", "S_156", "S_158", "S_160",
"S_162", _
    "S_164", "S_166", "S_168", "S_170", "S_172", "S_174", "S_176", "S_178", "S_180", "S_182",
"S_184", "S_186", "S_188", _
    "S_190", "S_192", "S_194", "S_194", "S_196", "S_198", "S_200", "S_202", "S_204", "S_206",
"S_208", "S_210", "S_212", _
    "S_214", "S_216", "S_218", "S_220", "S_222", "S_224", "S_226", "S_228", "S_230", "S_232",
"S_234", "S_236", "S_238", "S_240", "S_242", "S_244", _
    "S_246", "S_248", "S_250", "S_252", "S_254", "S_256", "S_258", "S_260", "S_262", "S_264",
"S_266", "S_268", "S_270", "S_272", _
    "S_274", "S_276", "S_278", "S_40", "S_42", "S_44", "S_46", "S_48", "S_50", _
    "S_52", "S_54", "S_56", "S_58", "S_60", "S_72", "S_62", "S_64", "S_66", "S_68", "S_70"))
Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(242, 242, 242)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(242, 242, 242)
'IMPARES
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_1", "S_3", "S_5", "S_7", "S_9", "S_11", "S_13",
"S_15", _
    "S_17", "S_19", "S_21", "S_23", "S_25", "S_27", "S_29", "S_31", "S_33", "S_35", "S_37", _
    "S_39", "S_75", "S_77", "S_79", "S_81", "S_83", "S_85", "S_87", "S_89", _
    "S_91", "S_93", "S_95", "S_97", "S_99", "S_101", "S_103", "S_105", "S_106", "S_109",
"S_111", _
    "S_113", "S_115", "S_117", "S_119", "S_121", "S_123", "S_125", "S_127", "S_129", "S_131",
"S_133", "S_135", "S_137", "S_139", "S_141", "S_143", _
    "S_145", "S_147", "S_149", "S_151", "S_153", "S_155", "S_157", "S_159", "S_161", "S_163",
"S_165", _
    "S_167", "S_169", "S_171", "S_173", "S_175", "S_177", "S_179", "S_181", "S_183", "S_185",
"S_187", "S_189", _
    "S_191", "S_193", "S_195", "S_197", "S_199", "S_201", "S_203", "S_205", "S_207", "S_209",
"S_211", "S_213", _
    "S_215", "S_217", "S_219", "S_221", "S_223", "S_225", "S_227", "S_229", "S_231", "S_233",
"S_235", "S_237", "S_239", "S_241", "S_243", "S_245", _
    "S_247", "S_249", "S_251", "S_253", "S_255", "S_257", "S_259", "S_261", "S_265", "S_267",
"S_269", "S_271", "S_273", _
    "S_275", "S_277", "S_279"))

```



```

Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(188, 140, 0)
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_41", "S_43", "S_45", "S_47", "S_49", "S_71"))
Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(237, 125, 49)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(174, 90, 33)
'SEGUNDA PARADA
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_51", "S_53", "S_55", "S_57", "S_59"))
Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(112, 173, 71)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(80, 126, 50)
'TERCERA PARADA
Set Soya = ActiveSheet.Shapes.Range(Array("S_61", "S_63", "S_65", "S_67", "S_69", "S_73"))
Soya.Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
Soya.Line.ForeColor.RGB = RGB(188, 140, 0)
End If
End Sub
*****
***
'SIMULACIÓN EN TIEMPO REAL
*****
***
Sub Botón1_Haga_clic_en()
Dim Tiempo As Variant
Tiempo = Now + TimeValue("00:00:01")
Application.OnTime Tiempo, "Contador", , True
End Sub
Sub Contador()
Range("A1") = Range("A1") + Range("A2")
If Range("A1") < 360 Then
Call Botón1_Haga_clic_en
End If
End Sub
Sub Simulacion()
Application.ScreenUpdating = False
j = Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Range("A1")
Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Range("E5").FormulaLocal = "=C" & 29 + j & "*D5"
Harina = Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Range("E17")
Aceite = Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Range("E20")
Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Cells(j + 29, 7) = Aceite / Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Cells(j
+ 29, 3)
Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Cells(j + 29, 8) = Aceite
Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Cells(j + 29, 9) = Harina / Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Cells(j
+ 29, 3)
Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Cells(j + 29, 10) = Harina
Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Range("A1") = j + 1
Sheets("BASE DE SIMULACIÓN").Range("E5").FormulaLocal = "=SIMULACIÓN!Z26*D5"
Application.ScreenUpdating = True
End Sub

```