

**ANÁLISIS CON MODELOS DE SERIES DE TIEMPO DE LA EVOLUCIÓN DE
DISPONIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS EN COLOMBIA 1961-
2011**

ROCÍO DEL PILAR VERA RAMÍREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE MATEMÁTICAS
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA
BUCARAMANGA
2016**

**ANÁLISIS CON MODELOS DE SERIES DE TIEMPO DE LA EVOLUCIÓN DE
DISPONIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS EN COLOMBIA 1961-
2011**

**ROCÍO DEL PILAR VERA RAMÍREZ
Cód. 2138393**

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Estadística

**Director:
GABRIEL YÁÑEZ CANAL
Profesor titular: Escuela de Matemáticas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE MATEMÁTICAS
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

A mi mamá por demostrarme que con amor todo es posible.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios, por acompañarme cada día y darme sus bendiciones en el momento correcto. Gracias a mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado.

Agradezco de manera especial al profesor Gabriel Yáñez Canal por su disposición para dirigir mi trabajo, su paciencia y su excelente asesoría. De igual manera, agradezco a Sandy Yanes y Luis Carlos Ávila por sus valiosos aportes a mi trabajo.

Gracias a mi amigo Sergio Rojas por su apoyo y a mi amiga María José, que aún desde la distancia, sigue creyendo en mí y me anima a seguir adelante.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
2. ANTECEDENTES	14
3. METODOLOGÍA	16
3.1 INDICADORES DE SEGURIDAD ALIMENTARIA	16
3.2 ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES	18
4. DESARROLLO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN	27
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SERIE DISPONIBILIDAD DE ALIMENTOS 1961- 2011	27
4.2 PREDICCIÓN DE DISPONIBILIDAD DE ALIMENTOS. HORIZONTE DE 10 AÑOS.....	38
4.3 DESCRIPCIÓN DE LA SERIE ÍNDICE DE ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS 1960- 2011.....	39
4.4 PREDICCIÓN DE LA ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS.....	47
4.5 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ENTRE LOS ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS	48
5. CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53

LISTA DE GRÁFICAS

Grafico 1. Índice de disponibilidad de Alimentos 1961-2011	27
Grafico 2. Diagrama de Caja y bigotes de la disponibilidad de alimentos	29
Grafico 3. Correlograma Disponibilidad de Alimentos	30
Grafico 4. Primeras Diferencias. Índice de Disponibilidad de Alimentos	33
Grafico 5. Correlograma de la Primera diferencia del Índice de disponibilidad de Alimentos	34
Grafico 6. Contraste de normalidad de los residuos.....	36
Grafico 7. Correlograma de los residuos. Modelo ARIMA (1,0,0).....	37
Grafico 8. Predicciones. Disponibilidad de alimentos	38
Grafico 9. Índice de Accesibilidad de alimentos en Colombia 1961- 2011	39
Grafico 10. Diagrama de caja y bigotes del Índice de Accesibilidad	40
Grafico 11. Correlograma Índice de Accesibilidad de Alimentos	41
Grafico 12. Primera diferencia Índice de Accesibilidad de Alimentos	42
Grafico 13. Correlograma de la Primera Diferencia. Índice de Accesibilidad	42
Grafico 14. Contraste de normalidad de los residuos. Accesibilidad de alimentos... ..	45
Grafico 15. Correlograma de los residuos- Accesibilidad de alimentos.....	46
Grafico 16. Predicciones Índice de Accesibilidad	47
Grafico 17. Función de correlación cruzada para el índice de disponibilidad e Índice de Accesibilidad	48

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Niveles de interpretación TSA	17
Tabla 2.	Modelo ARIMA (1,0,0) Disponibilidad de alimentos.....	31
Tabla 3.	Modelo ARIMA (1,1,0). Disponibilidad de alimentos.....	35
Tabla 4.	Modelo ARIMA (1, 1, 0). Índice de Accesibilidad de Alimentos	44
Tabla 5.	Función de transferencia entre disponibilidad y accesibilidad	49
Tabla 6.	Función de transferencia sin constante. Disponibilidad y accesibilidad.	50

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS CON MODELOS DE SERIES DE TIEMPO DE LA EVOLUCIÓN DE DISPONIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS EN COLOMBIA 1961-2011^{*}

AUTOR: Rocío del Pilar Vera Ramírez^{**}

PALABRAS CLAVES: Disponibilidad, accesibilidad, seguridad alimentaria, series de tiempo, funciones de transferencia

DESCRIPCIÓN

La disponibilidad y accesibilidad de alimentos hacen parte de los componentes de la seguridad alimentaria establecidos por la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. El análisis mediante series temporales establece la construcción de una base de datos que identifique las variables disponibilidad y accesibilidad de alimentos. Para la disponibilidad, el indicador será la *Tasa de suficiencia alimentaria* concepto desarrollado por la Corporación Héritage; y la Accesibilidad de alimentos será definida mediante un indicador que resulta de la relación entre la canasta básica de alimentos y el salario mínimo legal.

Las series se examinan individualmente mediante análisis exploratorio y pruebas estadísticas llegando a la construcción de un modelo de serie de tiempo ARIMA (1,0,0) para la disponibilidad de alimentos y un ARIMA (1,1,0) para la accesibilidad de alimentos. La función de transferencia entre estas dos series modeladas arroja como resultado la relación directa y dependiente de las series de estudio, es decir, los cambios en la disponibilidad de alimentos implican un cambio en la accesibilidad de alimentos. Ampliar la producción nacional de alimentos, derivado de propuestas y políticas agropecuarias encaminadas a proteger y capacitar la población rural conducirá a aumentar la soberanía alimentaria. Esto por su parte, reducirá el porcentaje per cápita de gasto en alimentos permitiendo satisfacer otras necesidades básicas.

^{*} Trabajo de Grado

^{**} Facultad de Ciencias. Escuela de Matemáticas. Especialización en Estadística. Director Gabriel Yáñez Canal

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS WITH TIME SERIES MODELS OF THE EVOLUTION OF FOOD AVAILABILITY AND ACCESSIBILITY IN COLOMBIA 1961-2011^{*}

AUTHOR: Rocío del Pilar Vera Ramírez^{**}

KEY WORDS: Availability, accessibility, food security, time series, transfer functions

DESCRIPTION

Food availability and food accessibility are part of the components of food security, established by Food and Agriculture Organization of the United Nations. The analysis through time series establishes the construction of a database that identifies variables of food availability and accessibility. for availability, the indicator will be the rate of food sufficiency -concept developed by the Heritage Corporation. Food accessibility will be defined by an indicator that comes from the relation between the basic food basket and the legal minimum wage from Colombia.

These series are individually examined by exploratory analysis and statistical tests coming to the construction of an ARIMA (1,0,0) time series model, for food availability and, an ARIMA (1,1,0) for food accessibility. The function's transfer between these two modeled series brings as a result the direct and dependent relation between our series of study, in other words, changes in the food availability involves changes in the food availability.

The expansion of the national food production, as a consequence of agricultural proposals and policies directed to protect and educate rural population, will lead to increase food sovereignty. Consequently it will reduce the percentage of food expenses per capita, enable people to meet basic needs.

^{*} Work degree

^{**} Science Faculty, Math School. Director: Gabriel Yáñez Canal

INTRODUCCIÓN

La elaboración de este trabajo tiene como fin profundizar mediante un ejercicio específico, el tema de series de tiempo. Para esto, el objetivo principal está enfocado en analizar el comportamiento temporal de las variables que miden la disponibilidad y accesibilidad de alimentos en Colombia durante el periodo 1961-2011, y la interrelación existente entre ellas.

Se parte del análisis individual de las series propuestas; la disponibilidad, que está relacionada con la producción de alimentos en Colombia y la accesibilidad, que se asocia al ingreso. Con cada una de las series mencionadas se elabora un análisis exploratorio de los datos en el cual se pretende explicar el comportamiento de las mismas basados en los ciclos económicos y las diferentes leyes que han incidido en los cambios de las mismas.

Una vez analizadas las series se elabora un modelo estadístico de series temporales que describe y explica el comportamiento y tendencia de las series; de acuerdo con las pruebas realizadas el proceso que se ajusta de manera adecuada para las series es el ARIMA; las proyecciones realizadas se adaptan correctamente y tienen un horizonte de diez años.

Construido el modelo para las dos series se realiza el estudio mediante funciones de transferencia en el cual se prueba la relación existente entre la variable disponibilidad y accesibilidad de alimentos. Por último se presentan las conclusiones generales del trabajo.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dentro de los componentes de la seguridad alimentaria, según la FAO¹, se encuentra la *disponibilidad de alimentos*, asociado a producción; *acceso a los alimentos*, referente a la capacidad de las personas de adquirir alimentos; *utilización*, uso biológico de alimentos a través de alimentación adecuada, agua potable y atención médica; y *estabilidad*, dimensión de la disponibilidad y acceso de la seguridad alimentaria²

Teniendo en cuenta la clasificación descrita anteriormente, se decide hacer un estudio de los dos primeros componentes de la seguridad alimentaria; *disponibilidad de alimentos* y *accesibilidad de alimentos* mediante el análisis de series temporales y funciones de transferencia. La selección de estos elementos se realiza porque se parte del supuesto inicial que existe una relación directa entre estas dos variables.

Para este estudio, se requiere la construcción de la base de datos que identifica las variables a analizar; la disponibilidad de alimentos, en este caso, será la *Tasa de suficiencia alimentaria* concepto desarrollado por la Corporación Héritage; y la *Accesibilidad de alimentos* será definida mediante un indicador que resulta de la relación entre la canasta básica de alimentos y el salario mínimo legal. Estos dos conceptos serán explicados a profundidad posteriormente.

El propósito de la investigación consiste en comprobar que puede existir una relación entre estas dos variables traducida en el aumento o disminución de la accesibilidad de alimentos debido al aumento o disminución de la disponibilidad de los mismos en Colombia durante los últimos 50 años.

¹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

² FAO. Informe de Políticas número 2. Junio de 2006. [Consultado: Febrero de 2015] Disponible en: ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policybriefs/pb_02_es.pdf

2. ANTECEDENTES

El Departamento Nacional de Planeación mediante el documento CONPES 113 (2008) expone los lineamientos de la Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional donde está definida como “la disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso y consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidad, calidad e inocuidad por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa”, complementando la definición de la FAO.

Dentro del marco normativo nacional para la seguridad alimentaria y nutricional previo a la creación del observatorio de Seguridad Alimentaria Nacional OSAN se destaca La Constitución Política de Colombia con el artículo 44 el cual establece el derecho a la alimentación equilibrada de los niños. El decreto 2055 de 2009 del Ministerio de la Protección Social por el cual se crea la Comisión Intersectorial de Seguridad Alimentaria y Nutricional- CISAN como la máxima autoridad rectora de seguridad Alimentaria y Nutricional en Colombia.

Por otra parte, la base metodológica desarrollada por Héritage se fundamenta en el análisis de la eficiencia en la administración de los flujos de energía que intervienen en los procesos de producción y transformación en el sector rural, teniendo como variable la kilocaloría.

En efecto, desde el punto de vista tecnológico, la eficiencia medida en balance energético, permite evidenciar el nivel de dependencia de los insumos externos a los sistemas de producción, lo que se traduce en un aumento de la ineficiencia económica y por tanto en requerimientos crecientes de subsidios.

De igual manera, desde el punto de vista estadístico, esta modelación permite corregir las desviaciones generadas por los datos basados en precios que en el caso particular de los productos agropecuarios están afectados sensiblemente por la volatilidad de los precios, lo que igualmente dificulta las proyecciones.

Como lo plantea la CEPAL, la volatilidad involucra aspectos relativos a la velocidad, magnitud y cambios de dirección en las tasas de variación de los precios. En efecto, un precio es más volátil cuanto mayor sea la magnitud de su tasa de cambio, hacia arriba o hacia abajo, más rápido sea el cambio, y más cambios haya en direcciones opuestas; en el ámbito nacional, la transmisión de la volatilidad puede incrementarse o reducirse dependiendo de la evolución del tipo de cambio y de la adopción de medidas de política.

La volatilidad de los precios de las materias primas agrícolas tiene costos para los países, tales como pérdidas en la eficiencia económica, reducción de la seguridad alimentaria y desnutrición, efectos negativos sobre la balanza comercial, posibilidad de movilizaciones sociales y riesgos elevados para los productores, especialmente para los pequeños agricultores, pues se incrementa la incertidumbre sobre sus ingresos esperados. (CEPAL 2011).

Con el fin de garantizar el acceso de los trabajadores a los alimentos (seguridad alimentaria), a mediados del siglo pasado en Colombia se reglamentó el salario mínimo, como un ingreso suficiente para que los empleados tuvieran la capacidad de satisfacer sus necesidades básicas; en un comienzo fue determinado según la actividad económica y el sector; a partir del 1 de julio de 1984 se unificó el salario mínimo para todos los sectores de la economía y su incremento se realiza anualmente mediante decreto estatal.

3. METODOLOGÍA

3.1 INDICADORES DE SEGURIDAD ALIMENTARIA

Dentro de los propósitos de la investigación, se encuentra registrar el comportamiento del índice de disponibilidad y el índice de accesibilidad de alimentos en Colombia para el periodo 1961- 2011, a partir de datos oficiales disponibles con relación a las siguientes variables:

- ***La disponibilidad de alimentos:***

Se asimila al concepto de soberanía alimentaria y para este caso, se trabaja con la serie propuesta para el análisis de disponibilidad que se basa en la Tasa de suficiencia alimentaria (TSA), definida por la Corporación Héritage³ como la relación entre la producción agropecuaria de un territorio sobre el requerimiento vital de la población urbana y rural del mismo territorio, expresada en kilocalorías.

$$TSA_t = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * V_i}{(PT * Rv)}$$

Donde,

Pi: Peso de la producción i

Vi: Valor energético del cultivo i

PT: Población Total

Rv: Requerimiento Vital promedio por persona.

³ Corporación sin ánimo de lucro que establece indicadores destinados a medir los fenómenos relacionados con el desarrollo rural y en particular con la Economía Campesina.

Tabla 1. Niveles de interpretación TSA

Nivel Crítico	Nivel de Compensación	Nivel de Oportunidad
TSA menor a 0,5. Existe un déficit alimentario que refleja la alta dependencia de las importaciones de alimentos en un territorio para satisfacer el requerimiento vital del total de su población	TSA entre 0,5 -1; indica la tendencia que tiene la producción primaria para satisfacer el requerimiento vital del total de la población superando el nivel crítico	TSA mayor a uno (1); indica que la producción primaria además de satisfacer el requerimiento vital de la población total del territorio, genera excedentes de producción que permiten medir la capacidad exportadora del mismo

- **Accesibilidad de alimentos**

El punto de referencia para construir el índice de accesibilidad es el estudio de movilidad latinoamericana: “*Observatorio de movilidad Urbana para América Latina*” donde se estima el costo del transporte colectivo comparando el valor necesario para comprar 50 pasajes mensuales según el salario mínimo oficial⁴, allí se calcula el porcentaje de salario mínimo empleado en transporte público mensualmente. En este caso de estudio, como ya se ha mencionado es conocer la proporción de salario mínimo empleado en la adquisición de la canasta básica de alimentos.

La elaboración de este índice tiene varios componentes, el primer paso consiste en establecer la canasta básica de alimentos; para ello se toma como referencia la canasta alimentaria recomendada para Bogotá en el documento: *Consumo de Alimentos en Bogotá. “Déficit y canasta básica recomendada”* allí se seleccionan 31 productos determinados como los alimentos básicos de la dieta de la población en Bogotá y la canasta alimentaria recomendada. Para lograr un análisis detallado, el valor de la canasta básica de alimentos será per cápita.

⁴ CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO. Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina. 2010

La construcción y el análisis de esta canasta básica requiere precios anuales de los alimentos que la componen, para ello, la fuente utilizada es Corabastos. Los datos reportados en esta base están desde el año 2000; es así como se realiza una extrapolación de los años 1961 a 1999 teniendo como instrumento de apoyo el Índice de precios al consumidor IPC.

3.2 ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES

- ***Análisis Exploratorio:***

El punto de partida para realizar un estudio de tipo estadístico es el análisis exploratorio; en él es preciso identificar mediante gráficos y estadísticos la distribución y las características de los datos expuestos; en este caso de estudio, el análisis gráfico es fundamental teniendo en cuenta que uno de los objetivos de estudio es conocer la trayectoria de las series a través del tiempo y proyectar de manera correcta su comportamiento futuro.

Uno de los procesos más utilizados en análisis de series de tiempo es el método de alisado o suavizamiento, empleado para reducir la variabilidad de la serie y generar predicciones más acertadas. En este caso, se utiliza el método de primeras diferencias para observar cambios en la tendencia de los datos.

Identificar el modelo que represente mejor las series involucradas en el estudio requiere conocer las características de los procesos que modelan las series:

- ***Procesos Autorregresivos (AR):***

Estos modelos generalizan la idea de regresión para representar la dependencia lineal entre dos variables aleatorias⁵. El modelo de regresión simple expresa la

⁵ PEÑA, Daniel. Análisis de series temporales. Alianza editorial. 2005

evolución de una variable, Y_t como función lineal de otra variable, x_t mediante la ecuación:

$$y_t = c + bx_t + a_t$$

Dónde: c y b son constantes a determinar, y a es una variable aleatoria normal con media nula y varianza constante. De la misma manera, se aplica la estructura de dependencia en una serie temporal, z_t y se toma $y_t = z_t$ y $x_t = z_{t-1}$. Y se obtiene el proceso autorregresivo de primer orden.

En otras palabras, una serie z_t sigue un proceso autorregresivo de primer orden, o un AR(1) si ha sido generada por:

$$z_t = c + \phi z_{t-1} + a_t$$

Donde, c y $-1 < \phi < 1$ son constantes a determinar y a_t es un proceso de ruido blanco, es decir el proceso z_t cumple con las condiciones de media cero, varianza σ^2 constante y las autocorrelaciones son iguales a cero. Si z_t es un proceso normal, entonces todas las variables del proceso son independientes.

El proceso AR (1) puede definirse mediante un operador de retardo B el cual se define como un operador lineal que aplicado a una función temporal proporciona esa misma función retardada un periodo:

$$B f(t) = f(t - 1)$$

La notación en series de tiempo es la siguiente:

$$Bz_t = z_{t-1}$$

Una constante se interpreta como una función que es constante en el tiempo y se establece que al aplicar el operador de retardo a una constante, esta no se modifica:

$$B\mu = \mu$$

De acuerdo con la definición, si se aplica este operador al producto de una constante, a , por una serie temporal se tiene:

$$Baz_t = aBz_t = az_{t-1}$$

Un proceso autorregresivo de orden p , $AR(p)$, es un proceso estocástico (Z_t) que sigue el modelo:

$$z_t = c + \phi z_{t-1} + \dots + \phi z_{t-p} + a_t$$

- **Procesos Media móvil (MA):**

Los procesos de media móvil se caracterizan por tener una memoria corta, es decir, son funciones de un número finito, y generalmente pequeño de las innovaciones pasadas⁶

Los procesos de media móvil de orden uno $MA(1)$ se definen adicionando a un proceso de ruido blanco una dependencia del valor actual de la serie de la última innovación ocurrida. Es así, como el proceso será una combinación lineal de las dos últimas innovaciones, según la ecuación:

$$\tilde{z}_t = a_t - \theta a_{t-1}$$

Donde, $\tilde{z}_t = z_t - \mu$ siendo μ la media del proceso y a_t un proceso de ruido blanco con varianza σ^2 .

⁶ PEÑA, Daniel. Análisis de series temporales. Alianza editorial. 2005

El proceso MA(1) puede escribirse con notación de operadores:

$$\tilde{z}_t = (1 - \theta B)a_t$$

Este proceso es la suma de dos procesos estacionarios⁷, a_t y $-\theta a_{t-1}$ y, por tanto, siempre será estacionario, para cualquier valor del parámetro a diferencia de los procesos AR.

La representación general del proceso de medias móviles se expresa de acuerdo a los procesos cuyo valor actual dependa no solo de la última innovación, sino de las q últimas innovaciones:

$$\tilde{z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

En notación de operadores:

$$\tilde{z}_t = (1 - \theta B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)a_t$$

$$\tilde{z}_t = \theta_q(B)a_t$$

- **Procesos ARMA(p,q)**

Los procesos ARMA combinan las propiedades de los procesos AR y MA. Desde la estructura de autocorrelación, los AR permiten muchos coeficientes distintos de cero, pero con una pauta de decrecimiento fija, mientras los MA permiten pocos coeficientes distintos de cero, con valores arbitrarios. El proceso más simple es el ARMA (1,1) y se describe de la siguiente manera:

$$\tilde{z}_t = \phi_1 \tilde{z}_{t-1} + a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

⁷ Los procesos estocásticos son un conjunto de variables aleatorias Z_t donde el índice t toma valores en un conjunto C que se caracteriza por ser ordenado y corresponde a instantes temporales. Para cada valor de t se encuentra definida una variable aleatoria z_t y dichos valores observados de las variables aleatorias constituyen una serie de tiempo.

Con notación de operadores:

$$(1 - \phi_1 B)\tilde{z}_t = (1 - \theta_1 B)a_t$$

Donde $|\phi_1| < 1$ para que el proceso sea estacionario, y $|\theta_1| < 1$ para que sea invertible⁸. Suponiendo que $\phi_1 \neq \theta_1$

El proceso ARMA (p,q) será:

$$(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p)\tilde{z}_t = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q)a_t$$

o

$$\phi_p(B)\tilde{z}_t = \theta_q(B)a_t$$

- **Procesos ARIMA (p,d,q)**

Las series no estacionarias son transformadas mediante los procesos integrados de orden d ; en los procesos ARIMA (p,d,q) p es el orden de la parte autorregresiva estacionaria, d el número de diferencias del proceso y q es el orden de la parte media móvil⁹.

$$\phi_p(B)(1 - B)^d z_t = c + \theta_q(B)a_t$$

De acuerdo con las propiedades de los procesos ARIMA se procede a ajustar las series con la metodología propuesta por Box y Jenkins (1976) que propone tres etapas: Identificar el modelo, estimar los parámetros y realizar una diagnosis donde se comprueba que los residuos no tienen estructura de dependencia y

⁸ Los procesos son invertibles si las raíces de $\theta_q(B)$ se encuentran por fuera del círculo de la unidad.

⁹ PEÑA, Daniel. Análisis de series temporales. Alianza editorial. 2005

siguen un proceso de ruido blanco, considerándose adecuado para la toma de decisiones¹⁰.

- **Análisis de intervención**

Las series reales se ven con frecuencia afectadas por sucesos puntuales conocidos. Estos efectos se pueden modelar mediante la construcción de variables ficticias denominadas impulso y escalón¹¹.

La variable impulso, I_t toma el valor de cero en el instante del suceso y cero todos los restantes instantes.

El modelo será:

$$z_t = \mu + \omega I_t + n_t$$

Donde ahora n_t puede tener estructura temporal y seguir un modelo ARIMA.

La variable escalón S_t toma valor de cero antes del suceso y valores de uno después del suceso.

El modelo:

$$z_t = \mu + \omega S_t + n_t$$

La función de transferencia es la representación de una función que describe el efecto sobre la variable respuesta z_t , de una variable de entrada $I_t^{(h)}$. La función de transferencia en este caso es la constante w_0 :

$$z_t = \omega_0 I_t^{(h)} + \gamma(B)a_t$$

¹⁰ *Ibid.* Pág. 247

¹¹ *Ibid.* Pág. 340

- **Funciones de transferencia**

El modelo dinámico entre dos series de tiempo asume una relación lineal unidireccional de x_t hacia y_t entre dos procesos estocásticos estacionarios de media cero y se representa de la siguiente forma:

$$y_t = v_0x_t + v_1x_{t-1} + v_2x_{t-2} + \dots + n_t$$

Donde los coeficientes v_i de la función de transferencia describen la relación dinámica entre las dos series y el proceso n_t , que es también estacionario, recoge el efecto de todas las otras variables que pueden tener efecto sobre y_t , y se denomina proceso de *perturbación* de la relación. Esta ecuación puede escribirse de forma más compacta utilizando el operador de retardo:

$$y_t = v(B)x_t + n_t$$

Donde

$$v(B) = v_0 + v_1B + v_2B^2 + \dots$$

Las variables relacionadas en las funciones de transferencia son y_t que se denomina input y x_t llamada output. El modelo se expone así:

$$X_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} Y_t + \frac{\theta(B)}{\varphi(B)} a_t$$

El filtro $\frac{\omega(B)}{\delta(B)}$ recoge la influencia sistemática de Y_t sobre X_t mientras que el filtro

$\frac{\theta(B)}{\varphi(B)}$ recoge el resto de la estructura de relación temporal de la variable X_t ¹²

¹² GALLASTEGI I. Análisis de series temporales: Algunas técnicas de predicción. 1986

La función de correlación cruzada entre las variables recoge la estructura de correlación de ambas variables y se denota:

$$c_{XY}(k) = \begin{bmatrix} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y}) & k > 0 \\ \frac{1}{t} \sum_{t=1}^{T+k} (Y_t - \bar{Y})(X_{t-k} - \bar{X}) & k < 0 \end{bmatrix}$$

$c_{XY}(k)$ es una función que representa la relación dinámica entre X e Y y se llama función de covarianza cruzada.

De acuerdo con el procedimiento el paso a seguir es convertir las series en ruido blanco. Uno de los procedimientos propone buscar los modelos ARMA adecuados a las series x_t y y_t , obtener los residuos y buscar la relación entre ambas series a través de correlación cruzada:

$$\begin{aligned} \hat{a}_{x_t} &= \hat{\theta}_X(B)^{-1} \hat{\phi}_X(B) X_t \\ \hat{a}_{y_t} &= \hat{\theta}_Y(B)^{-1} \hat{\phi}_Y(B) Y_t \end{aligned}$$

$c_{a_x a_y}(k)$ da una idea del polinomio que une a ambas series:

$$\hat{a}_{x_t} = \frac{b(B)}{a(B)} \hat{a}_{y_t}$$

Sustituyendo \hat{a}_{x_t} y \hat{a}_{y_t} por sus modelos respectivos, se obtiene el modelo global de relación entre X e Y. Estimado este modelo completo, y estudiando sus residuos se deduce la estructura de retardos para los residuos y reestimando todo el modelo, se obtiene el modelo de función de transferencia¹³

¹³ GALLASTEGI I. Análisis de series temporales: Algunas técnicas de predicción. 1986

El otro procedimiento propuesto por Box y Jenkins, consiste en blanquear la serie de input con el modelo adecuado, y usar este mismo modelo para transformar el output:

$$\hat{a}_{Y_t} = \hat{\theta}_Y(B)^{-1} \hat{\phi}_Y(B) Y_t$$

$$\hat{\beta}_{X_t} = \hat{\theta}_Y(B)^{-1} \hat{\phi}_Y(B) X_t$$

La serie $\hat{\beta}_{X_t}$ no será ruido blanco; sin embargo, puede demostrarse que las correlaciones entre \hat{a}_y y $\hat{\beta}_x$ son proporcionales a las ponderaciones de la función que relacionan ambas series.

Es decir:

$$\hat{\beta}_{X_t} = v(B) \hat{a}_{Y_t} + \varepsilon_t$$

Siendo $v(B) = v_0 + v_1B + v_2B^2 + \dots$ se tiene que:

$$v_k = \frac{Q^{\hat{a}\hat{\beta}}(k)\sigma_{\beta}}{\sigma_{\hat{a}}}$$

Donde

$$Q_{XY}(k) = \text{corr}(X_t, Y_{t+k})$$

La función de correlación cruzada permite obtener la forma de la función $v(B)$; parametrizada en forma de un polinomio racional:

$$v(B) = \frac{\omega(B)}{\delta(B)}$$

Obtenida la identificación de $\omega(B)$ y $\delta(B)$, estimar la relación entre X_t y Y_t y estudiar el comportamiento de sus residuos permitirá, de nuevo, obtener la forma del filtro para el ruido y recomponer el modelo completo¹⁴

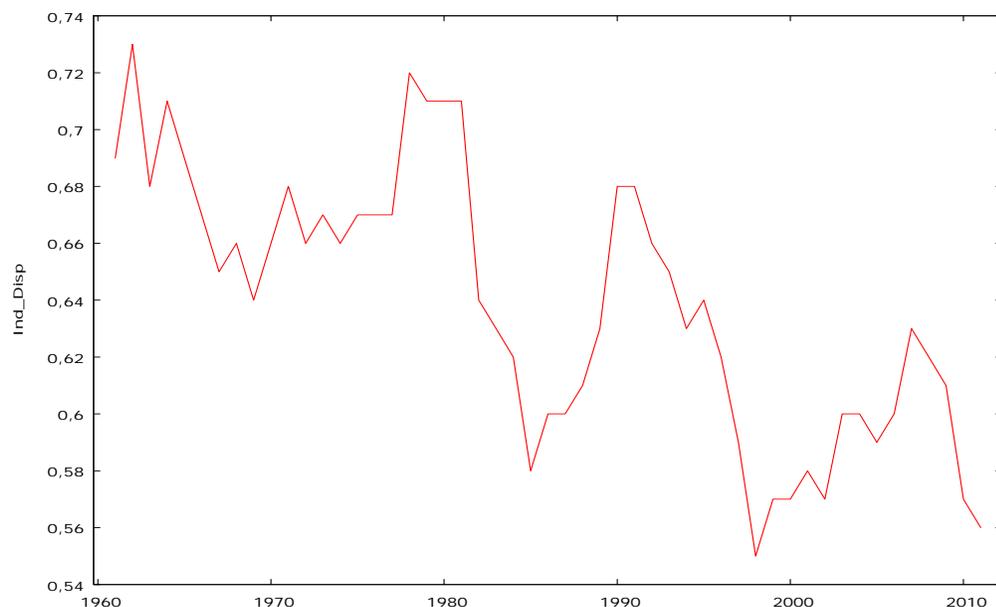
¹⁴ Ibíd.

4. DESARROLLO DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA SERIE DISPONIBILIDAD DE ALIMENTOS 1961- 2011

La disponibilidad de alimentos es representada por la Tasa de suficiencia alimentaria en economía campesina, es decir, la soberanía alimentaria. La Gráfica 1 indica el comportamiento variable en el tiempo de la serie demostrando su no estacionariedad. De la misma manera, y de acuerdo con el análisis planteado por la Corporación Héritage, la disponibilidad de alimentos en Colombia supera el nivel crítico estando en un nivel de compensación dado que el índice se encuentra por encima de 0,5.

Grafico 1. Índice de disponibilidad de Alimentos 1961-2011



Fuente: Corporación Héritage. 2011.

En la Gráfica 1, se destaca un pico en el cual la disponibilidad alimentaria alcanzó su nivel máximo; en este caso se tiene que a inicios de la década de los sesenta

producto de las políticas propuestas por los gobiernos conservadores en la década anterior tales como el aumento de aranceles sobre las importaciones y el aumento de créditos a bajas tasas de interés para el sector agropecuario incidieron positivamente, logrando que la disponibilidad de alimentos en Colombia alcanzara su pico más alto traduciéndose en suficiencia alimentaria y capacidad exportadora.

No obstante, el panorama no fue el mismo durante el transcurso de esta década; la caída brusca de la soberanía alimentaria podría ser explicada por la migración acelerada del campo a la ciudad, derivada de la violencia y el creciente número de organizaciones industriales que prometían innovación y desarrollo en las principales ciudades del país¹⁵.

La década del setenta denominada época de bonanza, muestra una recuperación en el sector agropecuario; a través de la ley 5ª de 1973 se crea el Fondo Financiero Agropecuario con el fin de incrementar la producción agrícola y ganadera al tiempo que se buscaba garantizar un adecuado aprovechamiento de la tierra. Igualmente, la ley 6ª de 1975 sobre los contratos de aparcería buscaba garantizar la mano de obra permanente de los trabajadores del campo.

Tal como lo indica la Gráfica 1, a mediados de los ochenta inicia la etapa de crisis en el sector agropecuario, reduciendo la producción y por lo tanto la disponibilidad de alimentos. Los puntos críticos se observan en 1985; los programas creados para fortalecer el campo como el Plan de Alimentación y Nutrición PAN y el Fondo de desarrollo rural integrado DRI son fusionados y los ajustes fiscales generan crisis en este sector de la economía¹⁶. Es importante destacar que en la administración de Virgilio Barco (1986-1990) retomó estos programas y articuló en ellos la estrategia de lucha contra la pobreza en el área rural.

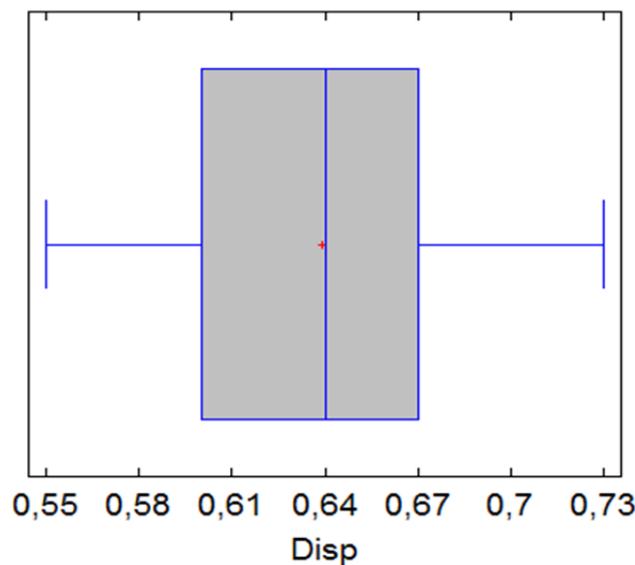
¹⁵ KALMANOVITZ, Salomón y LÓPEZ Enrique. La Agricultura en Colombia entre 1950 y 2000. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/pdfs/borra255.pdf>

¹⁶ *Ibíd.*

Sin embargo, la ejecución de nuevas políticas en el sector agropecuario como la “Política de Oferta Selectiva” y el “Programa de Internacionalización de la Economía Colombiana y Modernización de su Aparato Productivo” conocido como Apertura Económica que consistía en la liberación de comercio internacional entendido como el desmonte de la intervención tradicional del gobierno por control de importaciones, precios de sustentación y precios de cosecha, desencadenó la peor crisis referente a producción de alimentos en el país. Es de resaltar que en 1998 el fenómeno del niño también incide en la baja producción reflejada en la gráfica anterior¹⁷.

A continuación se presenta un diagrama de caja y bigotes el cual permite ampliar la información preliminar acerca de la serie expuesta; en la Gráfica 2 se da cuenta de que los datos se encuentran distribuidos entre los valores correspondientes a 0,55 y 0,73; tal como se mencionó inicialmente, se confirma el nivel de compensación que presenta la serie a pesar de la tendencia que ha experimentado durante los cincuenta años de análisis.

Grafico 2. Diagrama de Caja y bigotes de la disponibilidad de alimentos

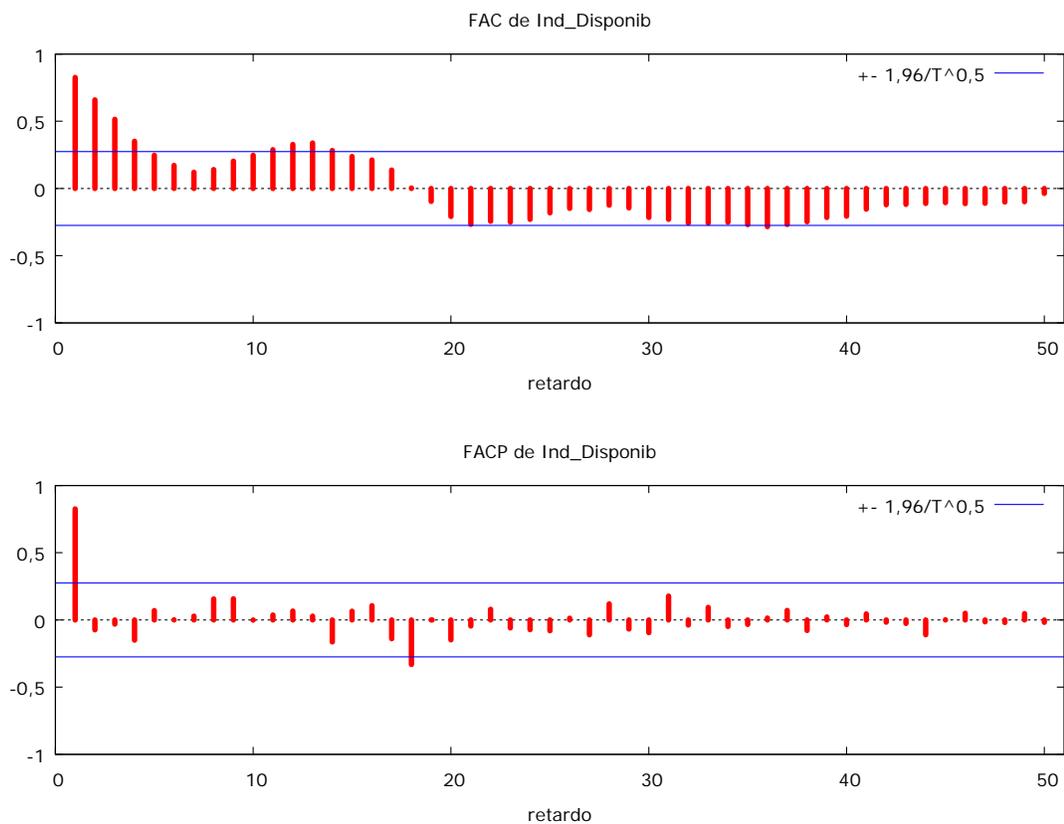


¹⁷ KALMANOVITZ Salomón. La Agricultura Colombiana en el siglo XX. 2010.

La Gráfica 2 también permite apreciar que tanto la media como la mediana se encuentran en lugares cercanos demostrando la cercanía de los datos y su recorrido alrededor de un intervalo de datos demuestra que la serie no ha presentado cambios bruscos en el periodo observado.

El comportamiento notable de la Gráfica inicial (1) indica cierta tendencia que merece ser observada desde la óptica de un correlograma.

Grafico 3. Correlograma Disponibilidad de Alimentos



El comportamiento sinusoidal reflejado en el FAC del correlograma confirma la tendencia de la serie, de la misma manera, el FACP indica un primer corte que podría significar que se tratara de un modelo autorregresivo de orden (1).

Se realiza la prueba de Dickey-Fuller para identificar si la serie es estacionaria:

$$H_0: \rho = 1; \alpha_0 = 0 \text{ Hay raíz unitaria}$$

$$H_1: \rho \neq 1; \alpha_0 \neq 0 \text{ No hay raíz unitaria}$$

Contraste de Dickey-Fuller para Ind_Disponib

tamaño muestral 50

hipótesis nula de raíz unitaria: $a = 1$

con constante y tendencia

$$\text{modelo: } (1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$$

Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0,038

diferencias retardadas: $F(3, 41) = 3,614 [0,0210]$

valor estimado de $(a - 1)$: -0,519392

Estadístico de contraste: $\tau_{ct}(1) = -4,24048$

valor p asintótico 0,003821

El valor de p asintótico confirma la estacionariedad de la serie rechazando la hipótesis nula de raíz unitaria. El modelo propuesto es ARIMA (1,0,0) y se expone en la siguiente tabla:

Tabla 2. Modelo ARIMA (1,0,0) Disponibilidad de alimentos

Modelo: ARMA, usando las observaciones 1961-2011 (T = 51)

Variable dependiente: Ind_Disponib

Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	Coeficiente	Desv. Típica	z	Valor p	
Const	0,63594	0,0238817	26,6288	<0,00001	***
phi_1	0,877742	0,0681491	12,8797	<0,00001	***

Media de la vble. dep.	0,639020	D.T. de la vble. dep.	0,046872
media innovaciones	-0,000930	D.T. innovaciones	0,023556
Log-verosimilitud	118,0652	Criterio de Akaike	-230,1303
Criterio de Schwarz	-224,3349	Crit. de Hannan-Quinn	-227,9157

	<i>Real</i>	<i>Imaginaria</i>	<i>Módulo</i>	<i>Frecuencia</i>
AR				
Raíz 1	1,1393	0,0000	1,1393	0,0000

De acuerdo con la información del modelo se asumen como significativas tanto la constante como el coeficiente de la serie analizada, el módulo de la raíz es significativo teniendo en cuenta que su valor es mayor a uno y el logaritmo de la verosimilitud también es alto, todas estas características confirman la estacionariedad en el modelo.

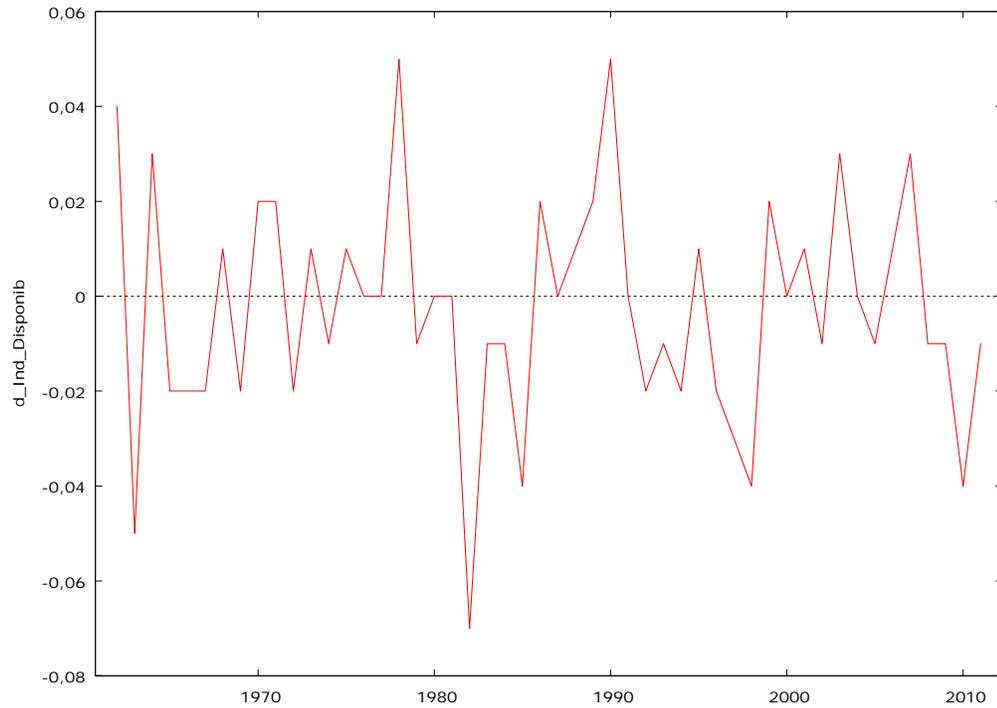
Sin embargo y a manera de ejercicio, se analiza la serie con su primera diferencia para decidir el modelo que se ajuste de mejor manera a la serie. En este caso se presenta la serie disponibilidad de alimentos transformada con la primera diferencia la cual consiste en restar a cada valor de y su valor anterior y multiplicarlo por p

Es decir:

$$Y_t^* = Y_{t-p} - Y_{t-1}$$

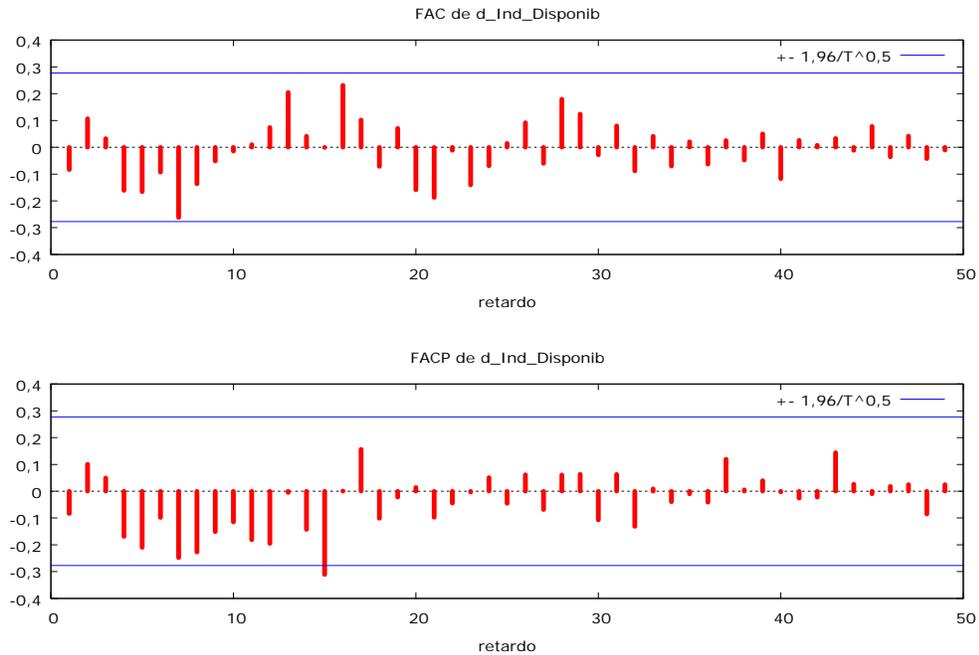
La Gráfica 4 refleja un cambio en el comportamiento de la serie indicando que la transformación es correcta; sin embargo se hace necesario el análisis mediante correlograma para analizar la autocorrelación.

Grafico 4. Primeras Diferencias. Índice de Disponibilidad de Alimentos



En la Gráfica 5 se muestra el correlograma de la serie diferencia la cual expone valores cercanos a cero, lo cual infiere que observa un cambio significativo en la serie reflejando su estacionariedad.

Grafico 5. Correlograma de la Primera diferencia del Índice de disponibilidad de Alimentos



Para corroborar la estacionariedad de la serie se hace necesaria la aplicación del test de Dickey-Fuller para confirmar si existe raíz unitaria para correr el modelo

La hipótesis se plantea así:

$$H_0: \rho = 1; \alpha_0 = 0 \text{ Hay raíz unitaria}$$

$$H_1: \rho \neq 1; \alpha_0 \neq 0 \text{ No hay raíz unitaria}$$

Contraste de Dickey-Fuller para d_Ind_Disponi

tamaño muestral 49

hipótesis nula de raíz unitaria: $\alpha = 1$

con constante y tendencia

$$\text{modelo: } (1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + e$$

Coef. de autocorrelación de primer orden de e: 0,079

valor estimado de (a - 1): -1,08302

Estadístico de contraste: tau_ct(1) = -7,61078

Valor p 1,833e-007

De acuerdo con los resultados arrojados por el contraste de Dickey-Fuller se rechaza la hipótesis nula que afirma presencia de raíz unitaria lo que significa que la serie es estacionaria. Es así como se admite la serie transformada con las primeras diferencias y se procede a construir un modelo ARIMA(1,1,0)

Tabla 3. Modelo ARIMA (1,1,0). Disponibilidad de alimentos

Modelo ARIMA, usando las observaciones 1962-2011 (T = 50)

1. Variable dependiente: (1-L) Ind_Disponib

2. Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>z</i>	<i>Valor p</i>
Const	-	0,00312391	-0,8505	0,39504
	0,00265691			
phi_1	-0,0876324	0,144206	-0,6077	0,54339

3.

Media de la vble. dep.	-0,002600	D.T. de la vble. dep.	0,024312
media innovaciones	0,000075	D.T. innovaciones	0,023977
Log-verosimilitud	115,5819	Criterio de Akaike	-225,1637
Criterio de Schwarz	-219,4277	Crit. de Hannan-Quinn	-222,9794

4.

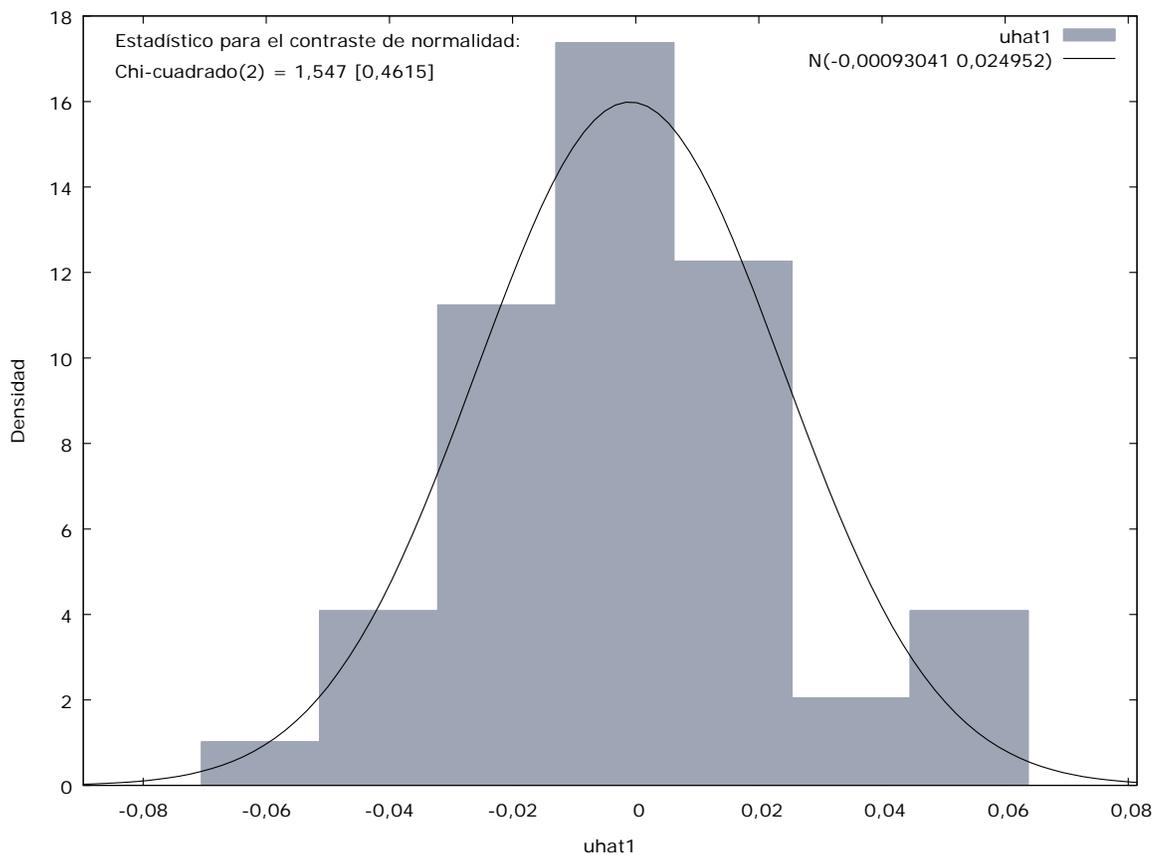
	<i>Real</i>	<i>Imaginaria</i>	<i>Módulo</i>	<i>Frecuencia</i>
AR				
Raíz 1	-11,4113	0,0000	11,4113	0,5000

De acuerdo con la información arrojada en este modelo se concluye que el modelo que mejor describe la serie disponibilidad de alimentos es el modelo inicial,

ARIMA (1,0,0), si bien el modelo ARIMA(1,1,0) experimenta estacionariedad en los datos, ninguno de sus coeficientes es significativo lo cual ratifica la preferencia por el modelo inicial el cual presenta significancia en los coeficientes del modelo con un valor p cercano a cero además de tener el módulo de la raíz positivo mayor a 1.

Siguiendo con el modelo inicial ARIMA(1,0,0) se aplica el contraste de normalidad de los residuos para observar el comportamiento de los mismos. Como última prueba se muestra el correlograma de los residuos que permite determinar si la serie experimenta ruido blanco.

Grafico 6. Contraste de normalidad de los residuos

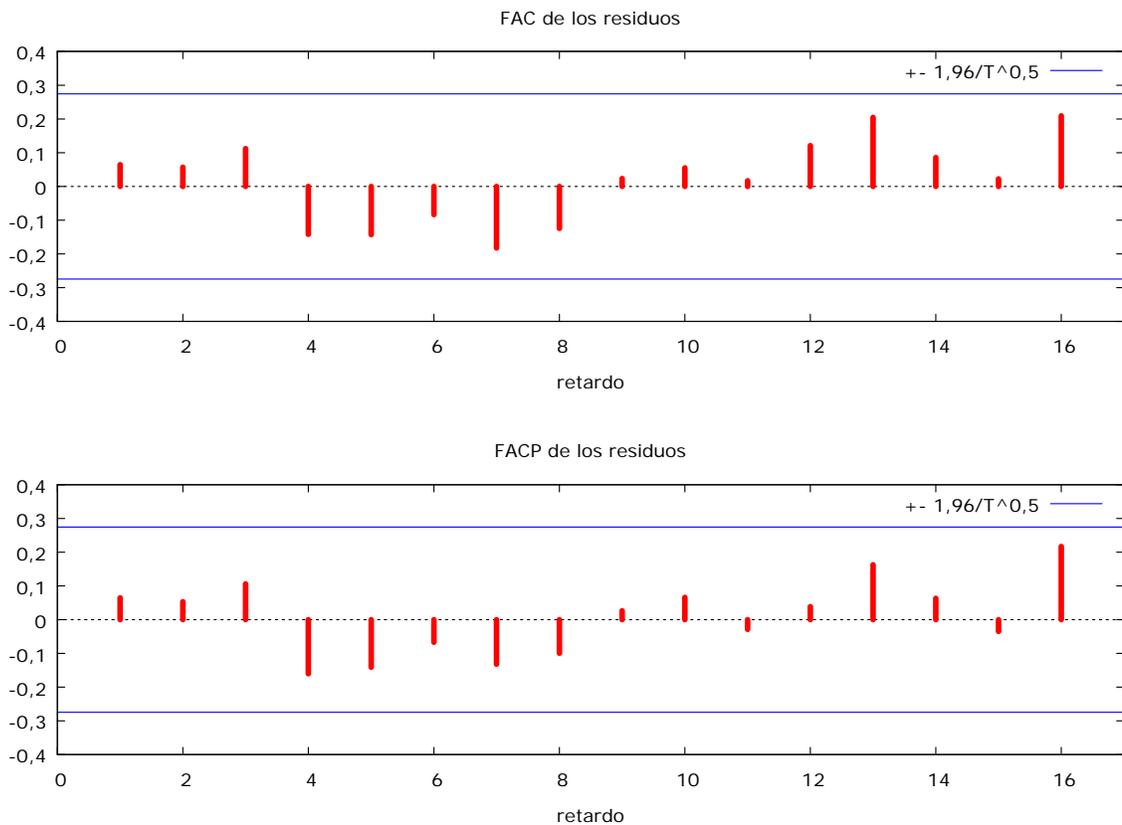


La Gráfica 6 confirma el comportamiento de los residuos como normales en la cual se acepta la hipótesis nula que afirma que el error se distribuye normalmente

teniendo en cuenta el estadístico de contraste Chi-cuadrado igual a 1,54 y un valor p igual a 0,46

Para concluir y confirmar la pertinencia del modelo se presenta a continuación en la Gráfica 7 el correlograma de los residuos el cual presenta un comportamiento aleatorio con los datos dentro del intervalo de confianza, demostrando la existencia de ruido blanco.

Grafico 7. Correlograma de los residuos. Modelo ARIMA (1,0,0)



De acuerdo con lo anterior la serie disponibilidad de alimentos se puede representar mediante un modelo ARIMA (1,1,0) con la ecuación:

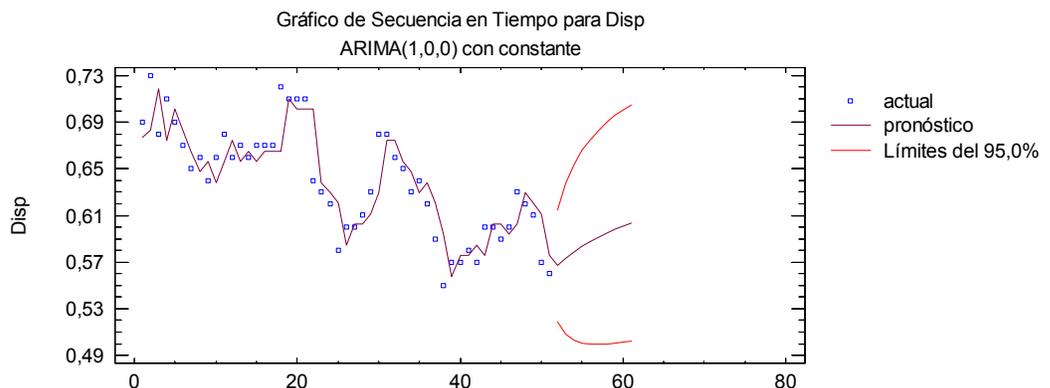
$$\text{Disponibilidad de alimentos} = 0,6359 + 0,877\gamma + a_t$$

La ecuación anterior indica que un aumento en disponibilidad de alimentos, medida en kilocalorías representará un aumento de 0,877 kilocalorías de la variable independiente.

4.2 PREDICCIÓN DE DISPONIBILIDAD DE ALIMENTOS. HORIZONTE DE 10 AÑOS

Para hacer una predicción más acertada se inicia la comparación desde el año 2008 con el fin de evaluar la capacidad predictiva del modelo escogido. La Gráfica 8 expone el comportamiento real de la serie acompañado de su pronóstico; allí se observa un comportamiento uniforme, sin embargo, a medida que los datos se alejan de la última observación real, los intervalos se hacen más grandes y por lo tanto los errores aumentan¹⁸

Gráfico 8. Predicciones. Disponibilidad de alimentos



En términos de disponibilidad de alimentos, se observa una tendencia creciente lo que infiere que la producción nacional de alimentos en el horizonte proyectado

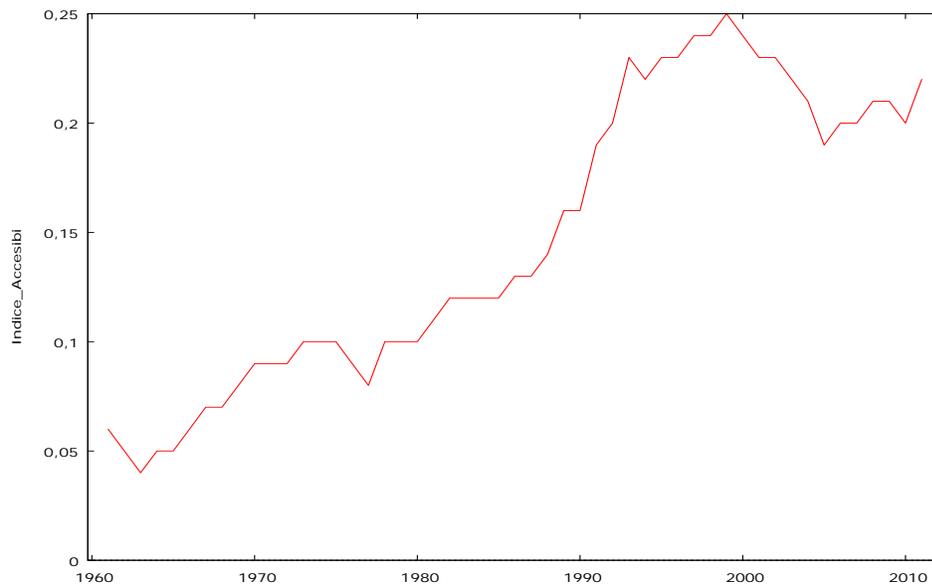
¹⁸ Los datos originales del índice de disponibilidad están hasta el año 2011 por lo tanto no es posible hacer una comparación con los datos reales y las predicciones de los años subsiguientes.

presentará altos índices de producción de alimentos representando una mejoría para la soberanía alimentaria del país.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LA SERIE ÍNDICE DE ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS 1960- 2011.

La accesibilidad de alimentos para este estudio específico se plantea con la construcción de un índice que permite relacionar la canasta básica de alimentos per cápita con el salario mínimo legal vigente. La Gráfica 10 indica una tendencia creciente del índice de accesibilidad lo que a simple vista se traduce como la reducción en la capacidad para adquirir alimentos.

Gráfico 9. Índice de Accesibilidad de alimentos en Colombia 1961- 2011



Fuente: Cálculos de la autora

La tendencia creciente de la serie indica que los cambios presentados en las políticas de estado incidieron negativamente en la capacidad de adquirir alimentos

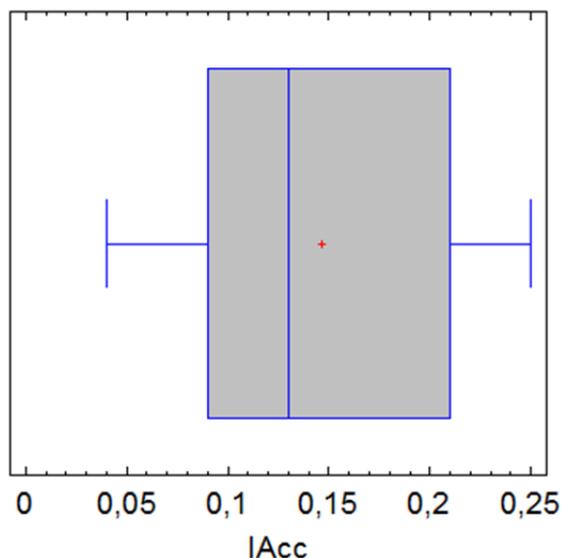
de los colombianos aumentando su porcentaje respecto al ingreso adquirido a través del tiempo.

Un punto crítico observado, es el periodo anterior al año 1976 donde los impactos relacionados con las políticas definidas en función de los acuerdos del pacto andino y en particular la decisión 24 incidieron en el comportamiento de la serie.

Por otro lado, para el periodo en el que se inscribe la reforma constitucional de 1991 a partir de la cual se estableció la política de apertura, los impactos de corto y mediano plazo generados por la ruptura de la política de protección a la protección nacional no se hicieron esperar; en esta década se presenta el menor crecimiento del producto interno bruto en la historia con un máximo pico de inflación en el año 1999.

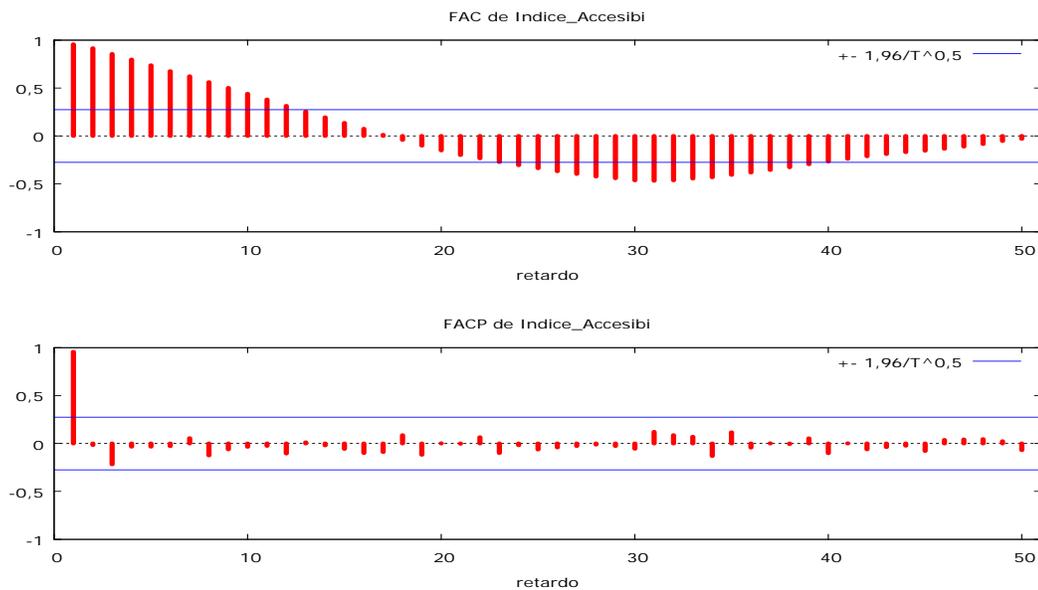
La Gráfica 10 permitirá completar el análisis de la serie original y la distribución de sus datos. En este caso se observa que los datos se encuentran en el intervalo correspondiente a 0,09 y 0,25; la media y la mediana no se encuentran tan cercanas y la mayoría de los datos se distribuyen por encima de 0,13.

Grafico 10. Diagrama de caja y bigotes del Índice de Accesibilidad



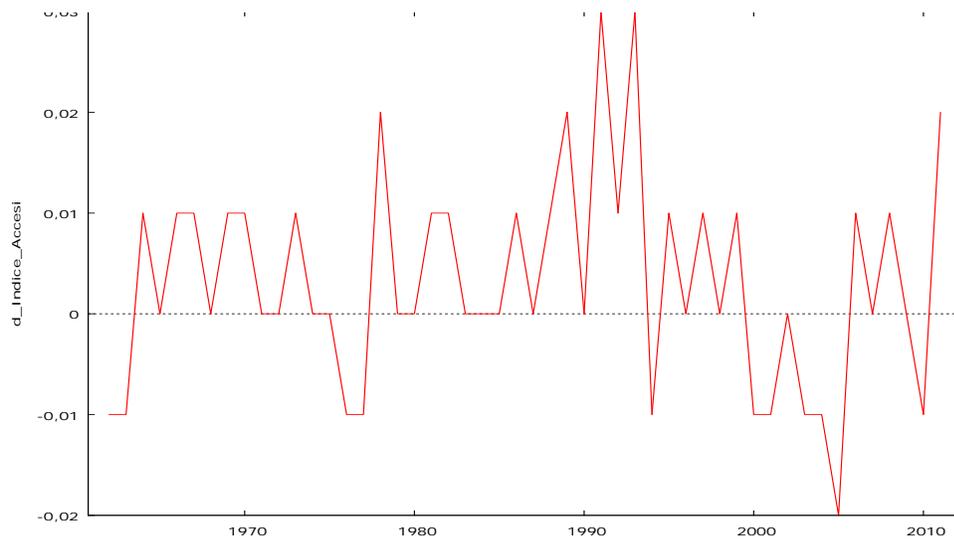
En general, la profundización de las políticas de globalización fundamentalmente a partir de los procesos de privatización de los bienes públicos y de los sistemas de transferencia de tecnología ha tenido incidencia negativa representada en un porcentaje mayor de gasto en alimentación del total del salario mínimo legal vigente.

Grafico 11. Correlograma Índice de Accesibilidad de Alimentos



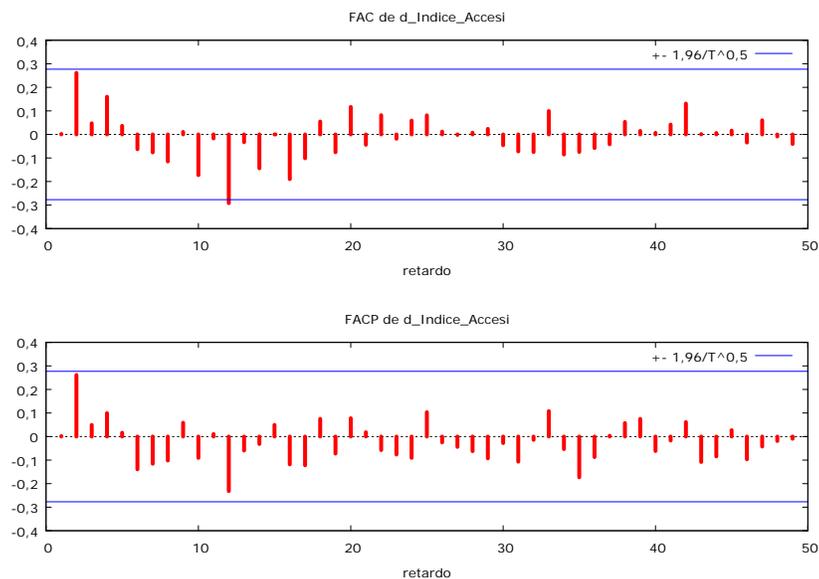
La gráfica 11 da cuenta de la tendencia decreciente de la serie en el FAC; por otro lado el FACP presume que se trate de un modelo autorregresivo AR (1) dado que el primer dato de la gráfica se encuentra por fuera de los límites de aceptación. A continuación se analiza la serie con un suavizamiento mediante la aplicación de la primera diferencia.

Grafico 12. Primera diferencia Índice de Accesibilidad de Alimentos



La gráfica 12 evidencia un cambio en el comportamiento del índice de accesibilidad de alimentos respecto al gráfico original, demostrando que el suavizamiento con el método de las primeras diferencias se ajusta a los datos de la serie. El correlograma a continuación permitirá observar la tendencia de los datos y comprobar si se trata de una serie con comportamiento aleatorio.

Grafico 13. Correlograma de la Primera Diferencia. Índice de Accesibilidad



El análisis del comportamiento del correlograma indica que la estacionariedad de la serie; para ello se aplica el test de Dickey- Fuller donde mediante el valor p asintótico se indicará si se acepta o se rechaza la hipótesis nula de presencia de raíz unitaria.

La hipótesis es:

$$H_0: \rho = 1; \alpha_0 = 0 \text{ Hay raíz unitaria}$$

$$H_1: \rho \neq 1; \alpha_0 \neq 0 \text{ No hay raíz unitaria}$$

Contraste aumentado de Dickey-Fuller para $d_Ind_Disponib$ incluyendo 6 retardos de $(1-L)d_Ind_Disponib$ (el máximo fue 10) tamaño muestral 43 hipótesis nula de raíz unitaria: $a = 1$

contraste con constante

$$\text{modelo: } (1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$$

Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0,055

diferencias retardadas: $F(6, 35) = 1,267 [0,2974]$

valor estimado de $(a - 1)$: -1,72667

Estadístico de contraste: $\tau_c(1) = -3,93385$

valor p asintótico 0,001807

con constante y tendencia

$$\text{modelo: } (1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$$

Coef. de autocorrelación de primer orden de e: -0,055

diferencias retardadas: $F(6, 34) = 1,219 [0,3210]$

valor estimado de $(a - 1)$: -1,72165

Estadístico de contraste: $\tau_{ct}(1) = -3,87009$

valor p asintótico 0,01324

El valor del p asintótico permite rechazar la hipótesis nula que indica existencia de raíz unitaria en el modelo, lo que infiere que la serie es estacionaria y está lista para ser representada mediante un modelo.

Tabla 4. Modelo ARIMA (1, 1, 0). Índice de Accesibilidad de Alimentos

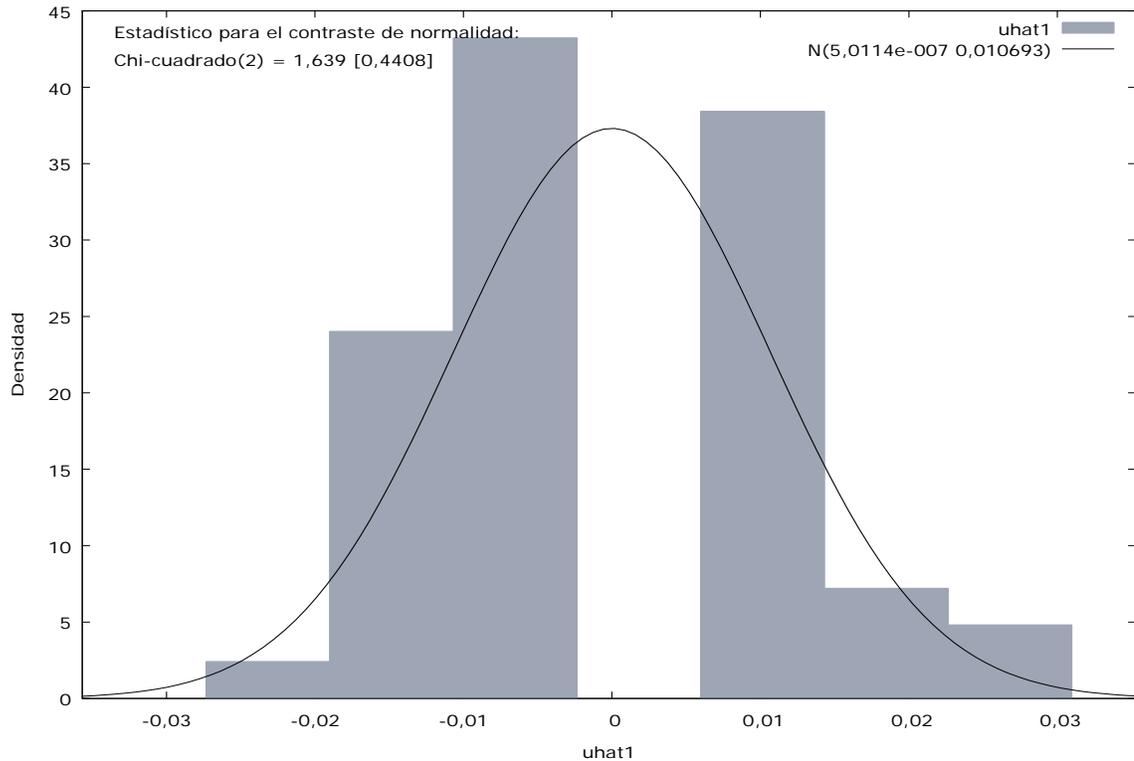
Modelo 1: ARIMA, usando las observaciones 1962-2011 (T = 50)
 Variable dependiente: (1-L) Indice_Accesibi
 Desviaciones típicas basadas en el Hessiano

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>z</i>	<i>Valor p</i>	
Const	0,00320014	0,00148442	2,1558	0,03110	**
phi_1	0,00189842	0,146115	0,0130	0,98963	
Media de la vble. dep.	0,003200	D.T. de la vble. dep.		0,010583	
media innovaciones	5,01e-07	D.T. innovaciones		0,010477	
Log-verosimilitud	156,9835	Criterio de Akaike		-307,9670	
Criterio de Schwarz	-302,2310	Crit. de Hannan-Quinn		-305,7827	

	<i>Real</i>	<i>Imaginaria</i>	<i>Módulo</i>	<i>Frecuencia</i>
AR				
Raíz 1	526,7539	0,0000	526,7539	0,0000

En este primer modelo la constante resulta ser significativa y el módulo de la raíz es significativamente mayor a 1, el logaritmo de la máxima verosimilitud corresponde a 156,98; estas características indican que se trata de un modelo adecuado. A continuación se presenta el contraste de normalidad de los residuos y su comportamiento.

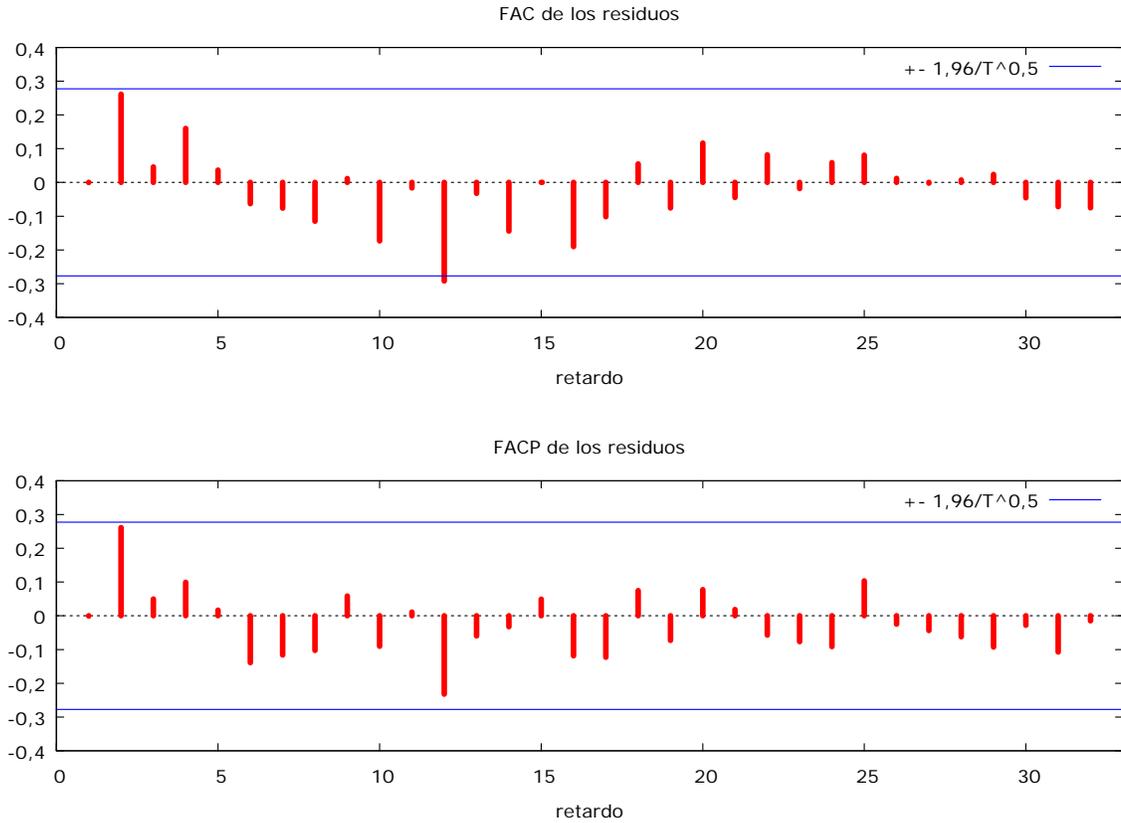
Grafico 14. Contraste de normalidad de los residuos. Accesibilidad de alimentos



De acuerdo con la Gráfica 14 se presenta la hipótesis nula que asume que los errores se distribuyen normalmente con un estadístico de contraste Chi-cuadrado=1,64 con un valor $p=0,44$ lo cual permite aceptar la hipótesis nula de normalidad de los errores.

El correlograma de los residuos a continuación presenta un comportamiento aleatorio el cual confirma que no existe correlación de los errores y estos se encuentran dentro de los límites de confianza establecidos en el intervalo.

Grafico 15. Correlograma de los residuos- Accesibilidad de alimentos



Esta última prueba de normalidad de los residuos confirma el comportamiento de normalidad que experimentan los residuos lo que a su vez confirma la pertinencia del modelo definido como ARIMA (1, 1, 0)

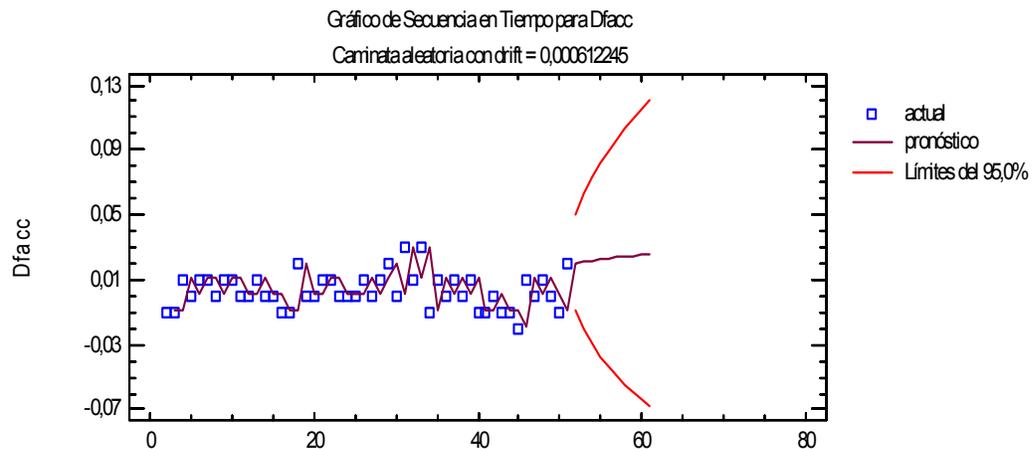
$$\text{Indice de Accesibilidad de alimentos} = 0,0032 + 0,0017\gamma + a_t$$

El índice de accesibilidad de alimentos presenta valores pequeños dado que la serie utilizada fue la primera diferencia de la serie original. Un incremento de la serie generará un aumento de 0,017 multiplicado por la variable independiente adicionando la constante y el componente aleatorio.

4.4 PREDICCIÓN DE LA ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS EN UN HORIZONTE DE 10 AÑOS

Como punto final del análisis individual de la serie y contando con el modelo que mejor se ajusta al comportamiento de la serie, se procede a realizar las predicciones a un horizonte de diez años. Debido a que solo se cuenta con información hasta el año 2011, se inicia la comparación desde 2007 con datos reales para observar el comportamiento de la serie y su balance con la predicción.

Gráfico 16. Predicciones Índice de Accesibilidad



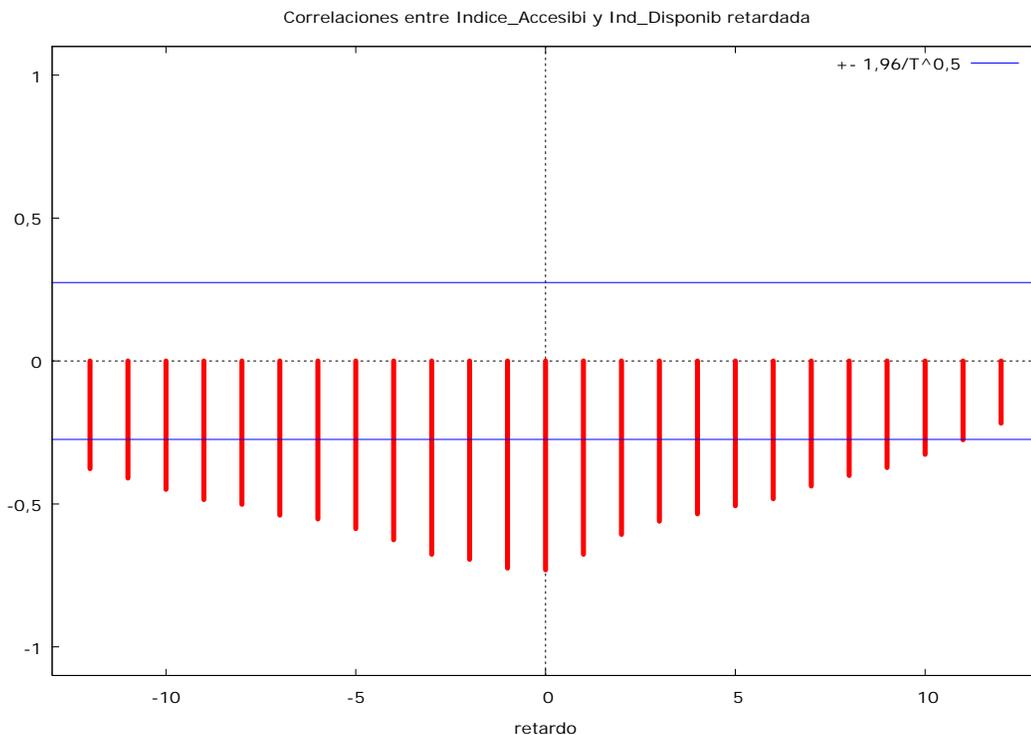
En la Gráfica 16 se observa que en los últimos años del análisis el índice de accesibilidad de alimentos tuvo una disminución importante, pasando de 0,25 en 1999 a 0,19 en 2005. Sin embargo, las predicciones muestran que este índice tiene tendencia al alza con valores superiores a los topes alcanzados hasta ahora; es de resaltar que este comportamiento reduce las capacidades de los colombianos para adquirir bienes diferentes a los alimentos debido a que gran parte de sus ingresos se irían para satisfacer únicamente el requerimiento alimenticio recomendado. Es importante aclarar que las desviaciones son muy

amplias lo cual puede conllevar a incrementar el margen de error de las predicciones.

4.5 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA ENTRE LOS ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD Y ACCESIBILIDAD DE ALIMENTOS

Construir una función de transferencia implica seguir de manera ordenada una serie de pasos; algunos de ellos se han desarrollado a lo largo del trabajo. El primer elemento de análisis es evaluar la afinidad de las series mediante una correlación cruzada; este ejercicio es el punto de partida de la función de transferencia. El siguiente gráfico da cuenta de la correlación negativa existente entre las series explicada por los valores fuera del intervalo de confianza.

Grafico 17. Función de correlación cruzada para el índice de disponibilidad e Índice de Accesibilidad



El siguiente paso involucra blanquear las series, es decir convertirlas en ruido blanco; gracias al análisis individual realizado previamente, las series se transformaron a estacionarias y se cuenta con un modelo ARIMA(1,0,0) para la disponibilidad de alimentos y un modelo ARIMA (1,1,0) para la accesibilidad de alimentos.

Muy pocos programas de tipo estadístico cuentan con la opción de función de transferencia; Eviews por su parte permite introducir la ecuación en el orden, y o variable dependiente representada por el índice de accesibilidad, c que representa la constante x o variable independiente, en este caso tsa que representa la disponibilidad de alimentos, k retardos y el orden del modelo; en este caso corresponde a AR(1)

Tabla 5. Función de transferencia entre disponibilidad y accesibilidad

Dependent Variable: D_INDICE_ACCESI

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.027663	0.020949	-1.320519	0.1932
TSA_EC	0.048916	0.032852	1.488986	0.1433
AR(1)	-0.020749	0.149163	-0.139103	0.8900
R-squared	0.045512	Mean dependent var		0.003469
Adjusted R-squared	0.004013	S.D. dependent var		0.010518
S.E. of regression	0.010497	Akaike info criterion		-6.216199
Sum squared resid	0.005069	Schwarz criterion		-6.100374
Log likelihood	155.2969	Hannan-Quinn criter.		-6.172255
F-statistic	1.096688	Durbin-Watson stat		1.973824
Prob(F-statistic)	0.342548			
Inverted AR Roots	-0.02			

Los resultados expuestos dejan ver que existe una relación positiva con la disponibilidad de alimentos, de igual forma el estadístico t de esta variable tiene el valor mayor que 1 y el signo positivo. La poca significancia y el bajo coeficiente de AR(1) indica que la perturbación es ruido blanco. La constante no representan mayor importancia para el modelo por lo tanto se elimina y se presenta nuevamente:

Tabla 6. Función de transferencia sin constante. Disponibilidad y accesibilidad
Dependent Variable: D_INDICE_ACCESI

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
TSA_EC	0.005667	0.002368	2.393683	0.0207
AR(1)	-0.002958	0.147344	-0.020075	0.9841
R-squared	0.009614	Mean dependent var		0.003469
Adjusted R-squared	-0.011458	S.D. dependent var		0.010518
S.E. of regression	0.010578	Akaike info criterion		-6.220096
Sum squared resid	0.005259	Schwarz criterion		-6.142879
Log likelihood	154.3924	Hannan-Quinn criter.		-6.190800
Durbin-Watson stat	1.982838			
Inverted AR Roots	-.00			

En este caso, el coeficiente de la variable representativa disponibilidad d alimentos se hizo más pequeño pero el valor estadístico t aumentó al igual que el valor p en este caso se hizo más significativo. Para concluir se acepta este modelo y se define así: $Accesibilidad\ de\ alimentos = 0,0056Disponibilidad\ de\ alimentos_t + a_t$ es decir, el aumento en un periodo dado de la disponibilidad de alimentos, aumentará 0,0056 el índice de accesibilidad de alimentos

5. CONCLUSIONES

Determinar un modelo mediante series de tiempo para la disponibilidad y accesibilidad de alimentos implicó conocer la trayectoria de los datos a través del tiempo e identificar los posibles factores que incidían en los cambios de tendencia de las mismas. Estas series al ser componentes fundamentales de la seguridad alimentaria experimentaron cambios en su comportamiento durante el periodo de estudio explicado por ciclos económicos, cambios en políticas de tipo agropecuario y fenómenos climáticos.

El análisis individual de la disponibilidad de alimentos y accesibilidad de alimentos permitió la construcción de los modelos siguiendo la metodología planteada por Box y Jenkins en 1975. La disponibilidad de alimentos se identificó con un modelo ARIMA (1,0,,0). Por su parte la accesibilidad de alimentos adoptó un modelo ARIMA (1,1,0). En este punto se logró la estacionariedad de las dos series, generando modelos sólidos para cada una de las variables.

Las predicciones de la serie disponibilidad de alimentos presenta una tendencia creciente de su índice lo que se traduce en aumento de producción nacional de alimentos en los próximos años; sin embargo para esta serie, las desviaciones típicas se presentaron en un intervalo amplio, dando lugar a algunos errores; no obstante, aumentar este índice implica un rediseño en las políticas agropecuarias que conduzcan a un aumento en la producción de alimentos y mitiguen el daño de los mismos derivado del cambio climático.

De igual manera, la serie de accesibilidad de alimentos presenta una proyección de aumento del índice demostrando que en los próximos años, los colombianos tendrían que disponer de un porcentaje mayor de sus ingresos para acceder a los alimentos, este aumento a mediano plazo significa la disminución de los rubros

destinados a otras necesidades básicas lo que implica un aumento en la brecha de desigualdad y pobreza.

Las funciones de transferencia abarcan una metodología que permite la construcción paso a paso del modelo, que teniendo en cuenta los análisis previos de las series y su blanqueamiento o transformación en ruido blanco agilizan el montaje del modelo. Sin embargo, resultó complicado encontrar un software especializado en este tipo de procesos.

La relación dinámica o función de transferencia entre las series de estudio arrojó una dependencia de la accesibilidad de los alimentos con la disponibilidad de alimentos; es decir, los cambios en la disponibilidad de alimentos implican un cambio en la accesibilidad de alimentos. Ampliar la producción nacional de alimentos, derivado de propuestas y políticas agropecuarias encaminadas a proteger y capacitar la población rural conducirá a aumentar la soberanía alimentaria. Esto por su parte, reducirá el porcentaje per cápita de gasto en alimentos permitiendo satisfacer otras necesidades básicas.

BIBLIOGRAFÍA

CORABASTOS. Corporación de Abastos de Bogotá. S.A. Disponible en: <http://www.corabastos.com.co/>

CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO. Observatorio de movilidad urbana para América Latina. 2010.

CORPORACIÓN HÉRITAGE. Aplicación del modelo analítico departamento de Boyacá 2011.

CONSUMO DE ALIMENTOS EN BOGOTÁ. Balance en alimentación: canasta básica usual y canasta básica recomendada 2005. Capítulo 6 p. 83.

DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Índice de precios al consumidor. IPC. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/>

DNP Departamento Nacional de Planeación. Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional –PNSAN (Conpes 113 de 2008) [Consultado 15 de marzo 2015] Disponible en: https://pwh.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=m3P9tOgVx_o%3D&tabid=343

FAO. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Base de datos y sistema estadístico. [Consultado 22 de marzo 2015] Disponible en: <http://www.fao.org/statistics/es/>

FAO. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Informe de Políticas [Consultado 13 de abril 2015] Disponible en: ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policybriefs/pb_02_es.pdf

GALLASTEGI I. Análisis de series temporales: Algunas técnicas de predicción. Seminario internacional de estadística en Euskadi 1986.

KALMANOVITZ, Salomón y LÓPEZ Enrique. La Agricultura en Colombia entre 1950 y 2000. [Consultado 13 de abril 2015] Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/pdfs/borra255.pdf>
KALMANOVITZ Salomón. La Agricultura Colombiana en el siglo XX. 2010.

OSAN. Observatorio De Seguridad Alimentaria Y Nutricional De Colombia: Componentes y lineamientos para su implementación. [Consultado 21 abril 2015] Disponible en: <http://www.osancolombia.gov.co/doc/libroosan.pdf>

OSAN. Observatorio De Seguridad Alimentaria Y Nutricional De Colombia: Documento técnico de la situación en seguridad alimentaria y nutricional (SAN) 2012. [Consultado 22 de enero 2015] Disponible en: http://www.osancolombia.gov.co/doc/Documento_tecnico_situacion133220313.pdf

PEÑA, Daniel. Análisis de series temporales. Alianza Editorial. 2005