

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



APLICACIONES DEL CAOS Y LA COMPLEJIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTROS
DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL

ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN

MANUEL SANTIAGO LARA ATENCIA

BOGOTÁ D.C.

2016

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO



APLICACIONES DEL CAOS Y LA COMPLEJIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTROS
DEL SECTOR AGROINDUSTRIAL

ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN

MANUEL SANTIAGO LARA ATENCIA

FERNANDO JUÁREZ ACOSTA

ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS INTERNACIONALES

BOGOTÁ D.C.

2016

DEDICATORIA

A mis padres, mi hermano y mi novia que siempre me apoyaron en los momentos más difíciles de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todas las personas que tuve la fortuna de conocer en la universidad, amigos como Camilo, Jorge y Alejandro los llevaré siempre en el corazón por su apoyo. A los magníficos maestros que me dieron las herramientas con las que enfrentaré mi vida laboral como Hernán Quintanilla, Luis Levy Leguizamón y Alejandro Useche. Y especialmente al Dr. Fernando Juárez, que me permitió trabajar como su asistente de investigación para la elaboración de este documento, y compartió su tiempo y conocimiento conmigo.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Planteamiento del Problema.....	10
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos	11
1.4 Alcance y vinculación con el proyecto del profesor	12
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	14
2.1 Descripción del Sector Agroindustrial Colombiano	14
2.2 Teorías del Caos y Complejidad	20
2.3 Aplicaciones de los Modelos de Caos y Complejidad en la Cadena de Suministros del Sector Agroindustrial Colombiano.....	22
3. CONCLUSIONES.....	25
4. RECOMENDACIONES	26
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

GLOSARIO

Acuicultura: técnica para el cultivo de especies animales y vegetales de agua marina o dulce.

Agroindustria: todas aquellas actividades de postcosecha, tales como manufacturación, almacenamiento, transporte y comercialización, mediante las cuales se obtienen materias primas y productos intermedios, procedentes de la agricultura, la acuicultura y la actividad de transformación forestal.

Arroz Paddy: arroz con cáscara que negocian los molinos arroceros previo al proceso agroindustrial de secado, trilla y empaquetado.

Autopoiesis: capacidad que tiene un sistema para reproducir los elementos que lo componen y mantenerse por sí solo.

Bagazo: subproducto residual de calidad orgánica que resulta del proceso de prensa de la caña de azúcar después de extraer su jugo.

Cachaza: subproducto residual de la caña de azúcar, de materia orgánica, resultado de la separación de jugos de la caña, utilizado como insumo agrónomo.

Caos: sub-disciplina de las matemáticas que estudia sistemas complejos o dinámicos y tiene inmersa implicaciones filosóficas.

Carguío: en la agroindustria, etapa posterior al corte en la que se genera la carga que se va a transportar a la planta procesadora.

Complejidad: cualidad que adquiere un sistema en el que hay diversos componentes relacionados

Marroquinería: industria que vende artículos fabricados con cuero, tales como bolsos, billeteras, maletines, etc.

Miel Final (Melaza): subproducto de la industria azucarera, que se da como resultado de la cristalización del azúcar de caña.

Precio Spot: precio al cual se negocian los activos en las bolsas de valores y commodities para transacciones inmediatas.

Vísceras: órganos resultantes de los procesos agroindustriales a los que han sido sometidos algunos animales en la cadena bovina, avícola porcina y acuícola.

RESUMEN

La presente investigación consiste en determinar las aplicaciones existentes de las teorías del caos y las teorías de la complejidad en la cadena de suministro del sector agroindustrial colombiano. Además, tiene como propósito describir el sector de la agroindustria y la cadena de suministro, identificar los modelos de caos y complejidad y posteriormente determinar cuáles de éstos son aplicables al sector. Se define el caos como una sub-disciplina de las matemáticas que estudia sistemas complejos o dinámicos y tiene inmerso implicaciones filosóficas; por otra parte complejidad es la cualidad que adquiere un sistema en el que hay diversos componentes relacionados. Se ha identificado que en el ámbito colombiano existen diferentes estudios enfocados en la construcción de modelos agroindustriales, donde se adopta el concepto de complejidad para calificar el atributo de dichos modelos que involucran la armonización e integración de diferentes actores, desde los productores hasta los consumidores. En este estudio se emplea un estudio monográfico de tipo documental teniendo como unidad de análisis la cadena de suministro del sector agroindustrial. Los resultados indican que las teorías del caos y complejidad se encuentran presentes dentro de la cadena de suministros del sector agroindustrial colombiano, ya que en ella se ocurre la interconexión entre productores, procesadores y comercializadores, interactuando entre ellos y presentando alteraciones en su comportamiento económico a lo largo del tiempo en función de variaciones de las condiciones iniciales influenciadas por variables macroeconómicas, ambientales, sociales y políticas.

Palabras clave: Caos, Agroindustria, Cadena de Suministros, Complejidad, Efecto Mariposa.

ABSTRACT

This project intends to identify the existing applications of chaos and complexity theories in the supply chain of the Colombian agribusiness sector. Furthermore, the specific objectives are to achieve the description of the agribusiness sector and its supply chain, identify models of chaos and complexity and determine which of these are applicable to the sector. Chaos is a sub-discipline of mathematics that studies complex and dynamic systems and has immersed philosophical and mathematical implications, while the complexity is the quality that becomes a system in which there are many related components. It will be a monograph about the supply chain of the agribusiness sector. In the Colombian context there have been various studies focused on building agribusiness models, where the concept of complexity is adopted to qualify the attribute of these models involving the harmonization and integration of the different actors, from producers to consumers. This project aims to identify existing applications of chaos and complexity in the supply chain of the Colombian agribusiness sector. This paper is in the Finance & Marketing line of investigation, in the project of Corporate Finance. As final result, it's found that theories of chaos and complexity are present in the supply chain of the Colombian agribusiness sector because there is an interconnection between producers, industrials and dealers, interacting with each other and showing alterations on their economic behavior over the time depending on variations on initial conditions influenced by macroeconomic, environmental, social and political variables.

Keywords: Chaos, Agribusiness, Supply Chain, Complexity, Butterfly Effect.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En el sector agroindustrial se distingue cada producto de acuerdo con el valor agregado o nivel de transformación que éste tenga, por lo cual se encuentran productos con poco valor agregado, algún valor agregado, alto valor agregado y muy alto valor agregado (Secretaría de Desarrollo Económico, 2013, p.1). Esto implica que al haber una serie de procesos involucrados hasta llegar al producto final, exista cierta vulnerabilidad en la cadena de suministros de los productos del sector, en la cual ante un fallo en el proceso no se obtengan los resultados esperados.

Recientemente se han presentado vulneraciones en la cadena de suministros del sector agroindustrial y el país ha tenido que soportar escenarios socio-económicos hostiles. Así por ejemplo, el paro agrario perjudicó la cadena de suministros agroindustrial desde la materia prima (Albán, 2011) y el paro de camioneros tuvo implicaciones en el transporte desde las zonas de cosecha hasta las plantas de transformación de los productos, que para el mes de marzo de 2015 dejaba pérdidas superiores a los 5.000 millones de pesos diarios para los generadores de carga (Arias & Preciado, 2015). Los anteriores son algunos de los sucesos que han podido alterar las finanzas de las empresas del sector.

Sin embargo, a pesar de las problemáticas que han causado dichos acontecimientos, Arias & Preciado (2015) muestran que se ha logrado llegar a soluciones que permiten la reactivación de las operaciones económicas del sector y es allí precisamente en donde se pueden apreciar las aplicaciones existentes de las teorías del caos y las teorías de la complejidad. Por lo anterior, este trabajo se desarrolla bajo la pregunta:

¿Cuáles son las aplicaciones existentes del caos y la complejidad en la cadena de suministro del sector agroindustrial?

1.2 Justificación

Las cadenas agroindustriales colombianas se caracterizan por marcar el desarrollo de las regiones mediante el crecimiento de su producción e importancia en la economía (Rugeles & Jolly, 2006). Muchas de las empresas que conforman la agroindustria han nacido por medio del empirismo y han sobrevivido por la demanda local que han suplido, pero generalmente no son competitivas y no logran estar listas para un mundo globalizado (Gómez, Palacios & Villareal, 2007); por otro lado tienden a ser vulnerables ante un cambio en cualquiera de las variables que conforman su cadena de suministros, ya sea precios internacionales, tasas de cambio o cuotas de importación (Querol, 1977). Una modificación en estas condiciones afecta drásticamente ya sea el precio del bien que producen o el margen del productor, posibilitando que los consumidores finales se vean perjudicados por un impuesto inflacionario o que el productor pueda reducir tanto su margen de utilidad que llegue a la quiebra (Viera, 2012). Cualquiera de los casos que suceda es una situación no deseable, y lo ideal es no atravesar por estas circunstancias.

Dado esto, es necesario buscar aplicaciones que contribuyan con la optimización de la cadena agroindustrial tal como se encuentran en las teorías del caos y la complejidad, las cuales tratan de comprender sistemas complejos en donde las relaciones no son lineales y los problemas no se solucionan bajo una lógica común (Musselman, 2007).

1.3 Objetivos

Objetivo General

Determinar cuáles son las aplicaciones existentes del caos y la complejidad en la cadena de suministros del sector agroindustrial.

Objetivos Específicos

- Describir el sector agroindustrial colombiano y su cadena de suministro.
- Describir las teorías del caos y complejidad.
- Identificar las aplicaciones existentes de los modelos de caos y los modelos de complejidad en la cadena de suministros del sector agroindustrial colombiano.

1.4 Alcance y vinculación con el proyecto del profesor

La presente propuesta busca por medio de un estudio monográfico exponer las aplicaciones que puedan presentar las empresas a través de la cadena de suministros del sector agroindustrial colombiano bajo los conceptos de caos y complejidad.

Actualmente se pueden encontrar estudios enfocados en la incidencia del caos y la complejidad en los commodities (materias primas agroindustriales). Diversos autores (ver DeCoster, Labys & Mitchell, 1992; Parisi, Espinosa & Parisi, 2007) han realizado diferentes trabajos en los que bajo distintas técnicas como el análisis gráfico, entropía espacio-tiempo, gráficos de recurrencia, coeficiente de Hurst (Hurst, 1956), exponente de Lyapunov (Lyapunov, 1947) y dimensión de correlación, han concluido encontrar cierta evidencia de comportamiento caótico.

En el ámbito colombiano se han realizado diferentes estudios enfocados en la construcción de modelos agroindustriales, donde se adopta el concepto de complejidad para calificar el atributo de dichos modelos que involucran la armonización e integración de los diferentes actores, desde los productores hasta los consumidores (Rugeles & Jolly, 2006), o en donde se identifica la importancia de la conexión y relación en la cadena de suministro

agroindustrial desde su fuente de recursos, minimizando fallas que tengan consecuencias negativas en los resultados financieros de las empresas (Aguilera, Hernández & González, 2015). Dado esto, resulta útil para los resultados de esta investigación la aplicación de las teorías del caos y las teorías de la complejidad en la cadena de suministros del sector agroindustrial, desde su implicación filosófica (no determinista).

Esta propuesta se encuentra dentro de la línea de Finanzas & Marketing y pertenece al proyecto de Finanzas Corporativas del profesor Fernando Juárez (Universidad del Rosario, 2016). Al igual que los estudios realizados anteriormente sobre caos y la complejidad, tal como “Caos y salud en el sector económico de la salud en Colombia” (Juárez, 2010) o “Review of the principles of complexity in business administration and application in financial statements” (Juárez, 2014), en esta oportunidad se trabajará el estudio de la cadena de suministro en el sector agroindustrial buscando comprender diferentes fenómenos que se presentan en las empresas y como éstas pueden ser susceptibles a condiciones que las afecten.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Descripción del Sector Agroindustrial Colombiano

La agroindustria comprende aquellas actividades de postcosecha, tales como manufacturación, almacenamiento, transporte y comercialización, mediante las cuales se obtienen materias primas y productos intermedios, procedentes de la agricultura, la acuicultura y la actividad de transformación forestal (Cuevas, Masera & Díaz, 2004, p.54).

Un ejemplo de actividades dentro de este sector es la producción de la cadena de carne bovina, la cual comprende una etapa agropecuaria, que consiste en la cría y el engorde del ganado, y una agroindustrial en donde se enmarca el transporte, sacrificio, corte, congelación y comercialización (Gómez, Palacios & Villareal, 2007, p.15). La ganadería tiene gran importancia en la economía colombiana, a pesar del complejo entorno que ha sido característico en el proceso agropecuario y ganadero, basado inicialmente en la falta de institucionalidad y de inversión gubernamental, así como también de la inequidad social y violencia que ha padecido el campo en Colombia, precisamente debido a la ausencia del Estado (Lafaurie, 2006, p.24).

A pesar de esto, las cifras que le aporta la ganadería al país son interesantes y demarcan el liderazgo que tiene este subsector en el agro nacional, pues aporta el 1,6% del Producto Interno Bruto (PIB) Nacional y el 20% del PIB agropecuario, al mismo tiempo que genera 950.000 empleos, equivalentes al 7% del total nacional (Santana, 2012, p.35).

El sector ganadero en Colombia está asociado mediante la Federación Nacional de Ganaderos (FEDEGAN), constituida por derecho privado y sin ánimo de lucro (Van Ausdal, 2009). Esta asociación gremial busca mejorar el desarrollo del sector a través de la optimización de todos los procesos dentro de la cadena de suministros tanto cárnica como láctea (Sellamen, 2013). Además, estas cadenas son tan delicadas y complejas en materia de inocuidad que están reglamentadas técnicamente (Decreto N° 1500, 2007).

Debido a la diversidad de climas que se encuentran en Colombia, se pueden encontrar diferentes tipos de ganadería a lo largo y ancho del país. Por ejemplo, la región Andina tiene el 40% de las cabezas de ganado del país, la región Caribe 31%, y la Orinoquia el 29% (Santana, 2012, p.61).

Para el año 2010, el 99.3% del total de las cabezas destinadas a sacrificio se consumieron internamente, por lo que sólo el 0.7% se exportaron, mostrando que Colombia no es un gran exportador y lo que se exporta es solo para el mercado venezolano (Suárez, Santana & Moreno, 2011).

En este sentido, se observa cómo desde la cadena de suministros de carne bovina se genera una ilustración de la cadena de suministros del sector agroindustrial colombiano, comprendida por la producción agropecuaria inicial, sumando el transporte, procesamiento y comercialización del bien final (Mahecha, Gallego & Peláez, 2002). Cabe señalar que los actores que participan dentro de la cadena de suministros bovina son corresponden a ganaderos (productor primario), comercializadoras de ganado, plantas de beneficio, industria dedicada al procesamiento de alimentos, distribuidores mayoristas, distribuidores minoristas, restaurantes y consumidores.

Los productos principales del sector son la carne y las vísceras de res, a las que se suman carnes que han pasado por un proceso industrial: pre cocida, enlatados, embutidos, etc. Por otro lado, el sector también genera algunos subproductos importantes para otras cadenas de producción, como es el caso del cuero para la industria de la marroquinería y el sebo destinado a la industria de productos de aseo y cosméticos, entre otros (Santana, Camacho & Estévez, 2009, p.21).

Otro ejemplo que deja ver el mismo comportamiento de cadena de suministro es el de las oleaginosas. La cadena de oleaginosas tiene gran diversidad de bienes que van desde las actividades agrícolas incluso la elaboración de productos terminados agroindustriales. Dentro de los insumos que se pueden encontrar los hay de origen vegetal (fruto, semilla y nuez) y animal (leche, piel, músculos y otros órganos) (Cerón, Osorio & Hurtado, 2011). En Colombia, el material oleaginoso se obtiene primordialmente de soya, palma, algodón y ajonjolí, de los cuales, la palma es la que tiene más producción rendimiento y área cultivada (Gómez, Palacios &

Villareal, 2007, p.34). Son estos cultivos el primer agente agropecuario de la cadena de suministros, seguido luego por el transporte hasta las plantas procesadoras, su procesamiento y su posterior comercialización en diferentes presentaciones como margarinas, aceites, etc.

Al igual que los ganaderos, el subsector de oleaginosas tiene su organización gremial, la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA) de la que hacen parte los productores primarios. Luego se encuentran otras organizaciones orientadas al estudio de la palma como el centro de investigación (CENIPALMA), además de algunas cooperativas regionales. Para quienes realizan la transformación industrial del insumo agrícola se encuentra la Asociación Colombiana de Fabricantes de Grasas y Aceites Comestibles (COLDEACEITES) y la Federación Colombiana de Fabricantes de Grasas y Aceites Comestibles (FECOLGRASAS) (Guerrero & Narvárez, 2004).

Un subsector importante dentro de la agroindustria colombiana es el avícola, la cual se encuentra constituida por la organización gremial es la Federación Nacional de Avicultores de Colombia (FENAVI); Rivera, Malaver, Peña y Malaver (2011) exponen que la producción del sector avícola ha tenido un gran crecimiento en el país en los últimos años, como consecuencia del aumento en el consumo interno y la apertura económica hacia mercados internacionales, aportando dos millones y medio de empleos directos y los precios que en él se manejan tienen fuerte incidencia dentro del índice de precios de la canasta familiar IPC.

Los productos estándar de este subsector son el pollo y el huevo, sin embargo se ha logrado diversificar la oferta de productos y se comercializa no solo el pollo entero, sino se da la posibilidad de tenerlo despresado mediante procesos industriales y así ofrecer un producto empacado específicamente para la necesidad de cada consumidor (Echeverry & Silva, 2009).

Como en los otros subsectores agroindustriales, en la cadena de suministros avícola se encuentra un productor primario llamado avicultor, que dispone de instalaciones (galpones) con normas sanitarias que garantizan la inocuidad del alimento. En estos lugares se llevan a cabo los procesos de incubación y engorde. Una vez el pollo alcanza el tamaño óptimo, en las plantas de producción se procede a sacrificar el animal y así obtener el pollo entero y despresado. Obtenidos estos productos, la siguiente fase implica la distribución y el transporte de éstos, para finalmente ser comercializados (Echeverry & Silva, 2009). Este subsector tiene la particularidad

de ser vulnerable en la etapa de engorde de su cadena, puesto que los insumos más utilizados para este fin son el maíz y la torta de soya, los cuales atraviesan grandes alteraciones en sus precios por distintas variables tales como, la tasa de cambio, la cotización de éstas materias primas en la bolsa mercantil de Chicago (CME) y otras bolsas mercantiles en el mundo, las cuotas arancelarias, etc. (Coronado, Castillo & Celso, 2011).

En la región pacífica colombiana se destaca el subsector azucarero como dinamizador económico y social. Martínez (2005) menciona que en el país este subsector se autodenomina como clúster azucarero y está integrado por 13 ingenios: Manuelita, Mayagüez, Pichichi, María Luisa, Cabaña, Carmelita, Risaralda, Tumaco, San Carlos, Providencia, Incauca, Riopaila y Castilla, los cuales se encuentran agremiados mediante la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA).

Julca-Briceño y Fava (2011) afirman que en materia de producción, el clúster azucarero colombiano se ha visto estancado, debido a que se encuentra ubicado exclusivamente en la región pacífica colombiana, particularmente en el Valle del Cauca y no hay más terreno hacia donde expandir los cultivos de los ingenios, por lo tanto han alcanzado el tope de producción y de utilización de tierras cultivables. Estos mismos autores también señalan que en la cadena de suministros azucarera existen diferentes estrategias de abastecimiento para el productor primario dentro de las cuales la más común y utilizable en un 53% de los casos es de productor aparcerero, en la que el propietario de la tierra es independiente del ingenio y le vende el producto (caña de azúcar) en el mismo lugar de producción para que luego el ingenio se haga cargo de la labor de corte, carguío y transporte. En un 25% de los casos el ingenio es propietario de la tierra, entonces asume todo el proceso desde la siembra hasta el transporte evidenciando una integración vertical y en un 18% de los casos se forma la estrategia de aparcería, en la que el ingenio hace igualmente todo el proceso desde la siembra hasta transporte, pero en este caso la tierra no es suya, así que paga al propietario de la tierra en función de la productividad de la caña y el precio que tenga el azúcar en el momento. Por otro lado, la estrategia de arrendamiento, la cual sólo se ve en un 4% de los casos, consiste en que el propietario de un terreno establece un canon basándose en el precio del azúcar sin tener en cuenta la productividad de la caña y el ingenio realiza todo el proceso.

El azúcar es utilizado también como materia prima para otras cadenas como la de la chocolatería y confites, bebidas gaseosas, y alimentos, al mismo tiempo que el subsector genera otros subproductos derivados de la caña como la miel (virgen y final), la melaza, la cachaza y el bagazo (Londoño, 2014, p.31). Según Martínez (2005) la cadena de suministros azucarera se reduce al productor de la caña de azúcar, el procesador (ingenio) y luego dos tipos de clientes, uno industrial que utilizará el azúcar como materia prima y otro como distribuidor mayorista que surtirá a los minoristas para llegar al consumidor final.

Así como la región pacífica en el occidente de Colombia es fuerte en el cultivo de caña y la producción de azúcar, en el sur de Colombia en los departamentos del Huila, Tolima y en los Llanos Orientales se destaca el subsector agroindustrial arrocero agremiado bajo la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ), se caracteriza por tener niveles avanzados de tecnología en sus etapas de clasificación, secado y trilla (Rojas, 2012). Sin embargo, Ducuara (2011) expone que el subsector pese a su desarrollo tecnológico e industrial no alcanza a cubrir el total de la demanda nacional, debido a que no es tradicionalmente exportador y por el contrario tiene que recurrir a importaciones en ciertas épocas del año, trayendo como consecuencia ser víctima de contrabando con arroz, procedente en la mayoría de los casos desde Ecuador por comerciantes ilegales.

Salcedo & Stiglich (2004) explican que la cadena de suministros está compuesta de tres etapas, de las cuales en la primera de ellas se encuentra el productor, que tiene como insumos principales las semillas, el fertilizante y la tierra, y que realiza los procesos desde el sembrado hasta la recolección del arroz con cascarilla denominado “arroz paddy”, en un intervalo alrededor de 120 días. La segunda etapa en la cadena arrocera es la molinería, en donde como su nombre lo indica, los molinos reciben el arroz paddy verde (con cáscara), para luego realizar la limpieza, el secado, el almacenamiento, la trilla, el empaquetado del arroz blanco y los subproductos como el arroz medio grano, el partido industrial, la harina de arroz y la cascarilla. La etapa final de esta cadena es la distribución, la cual se lleva acabo por medio de comercializadores y distribuidores que se encargan por zonas, hacer llegar el producto a los consumidores finales.

A su vez Ducuara (2011) indica que los mayores productores de arroz en el país se encuentran en los departamentos de Huila y Tolima, y que conjuntamente aportan el 52% del

total producido, además de tener la gran ventaja de poder producir todo el año; en los Llanos Orientales por el contrario, solo hay una cosecha anual debido a factores climáticos; la producción en esta zona del país alcanza el 37% de la producción total nacional.

Por otra parte, también se encuentra la cadena del pescado o mejor llamada como la cadena de suministros acuícola. En Colombia, el subsector acuícola se encuentra agremiado bajo la Federación Colombiana de Acuicultores (FEDEACUA), y viene experimentando un crecimiento importante en los últimos años, cercano al 13% anual (Osorio, Wills & Muñoz, 2013).

Parrado (2012) referencia tres tipos distintos de acuicultura en Colombia. La primera de ellas es la acuicultura continental, la cual corresponde exclusivamente a la piscicultura, produciendo trucha, cachama y tilapia; este tipo de acuicultura se practica principalmente en la Región Andina, aunque también se encuentra en menor proporción en la Orinoquía y la Amazonía. La segunda clase de acuicultura que se encuentra es la marina, cuyo producto principal es el camarón de cultivo, además de proyectos pilotos de cobia y bivalvos; la acuicultura marina se practica en las regiones Caribe y Pacífica. Por último la acuicultura de peces ornamentales, es practicada principalmente con peces de agua dulce y algunos pocos marinos; este tipo de acuicultura se encuentra en desarrollo y no está formalizado, además no se encuentran muchas empresas constituidas para este único fin.

La cadena de suministros acuícola tiene como agentes inicialmente a los productores de alevinos, seguido por los productores de carne de levante y engorde. Una vez el pez alcance las condiciones ideales de peso y tamaño, se transforma mediante un proceso industrial, ya sea en filetes o en diferentes presentaciones. Por último, están los comercializadores donde actúan distribuidores mayoristas, supermercados, Centrales de Abasto, Restaurantes y el consumidor final (Merino, Bonilla & Bages, 2013, p.61).

Como factor clave de éxito para la gestión de la cadena de suministro agroindustrial, debe haber una integración efectiva en las funciones y los miembros del canal de tal manera que todos los procesos están alineados para lograr los objetivos generales del sistema (Manuj & Sahin, 2011).

En los últimos años, la producción agrícola colombiana se ha visto incrementada gracias al crecimiento del mercado interno y al de las exportaciones (3.000 millones en 2004 a 6.000 millones en 2009), además de experimentar un proceso de recomposición productiva, pasando de actividades con bienes transitorios a bienes permanentes, siendo cada vez más atractivo, tanto para inversionistas, como para el gobierno (Viera, 2012, p.4).

Viera (2012) explica que debido a su importancia, el Gobierno Nacional le apuesta al desarrollo de este sector mediante diferentes programas institucionales, enfocados a subsectores considerados de talla mundial como carne bovina, chocolatería, confitería, grasas y camaronicultura.

2.2 Teorías del Caos y Complejidad

Se considera un sistema caótico como aquel en que no hay orden, predictibilidad o estabilidad, así como uno con ninguna manera obvia para alcanzar un estado de orden (Waltuck, 2011). Si bien las definiciones de caos que se pueden encontrar no son muy fáciles de interpretar, se podría decir que la teoría del caos es una sub-disciplina de las matemáticas que estudia sistemas complejos o dinámicos (Seland, 2012), y se basa principalmente en propiedades de ecuaciones matemáticas, con cierto tipo de retroalimentación (Ball, 1989). Estas propiedades son diferentes a las de las ecuaciones simples y han sido utilizadas para explicar varios fenómenos similares en diferentes áreas como la meteorología, biología, economía y algunos cambios poblacionales (Ball, 1989).

La teoría del caos tiene diferentes implicaciones, entre las cuales se pueden destacar las filosóficas y las matemáticas. Lo que mejor describe la implicación filosófica de la teoría del caos es el concepto del “efecto mariposa”, que indica cómo mínimas desviaciones en las condiciones iniciales incurren cuantiosamente en los efectos esperados (Bruzco, 2012). En la economía mundial es un hecho la aplicación de este concepto en las grandes cadenas de suministros, pues la integración de todos los eslabones desde un punto primario hasta el cliente final tiene procesos intermedios sensibles al entorno, generando aleatoriedad, un fenómeno

irregular, no determinista, que convierte un negocio de rentable a inviable en un instante (Musselman, 2007).

Cuando se habla de la implicación matemática del caos, hay que centrarse en el caos determinista. Un sistema dinámico determinista puede ser a) expansivo, b) sensible a las condiciones iniciales, c) caótico si dos estados iniciales diferentes presentan órbitas que se van separando según una constante positiva α (umbral de percepción de error) llamada constante de expansividad (Catsigeras, 2000). Un sistema caótico se caracteriza porque su función matemática cumple al menos una de estas condiciones: (1) tiene dependencia muy sensible sobre las condiciones iniciales en su dominio y/o (2) tiene un exponente de Lyapunov positivo en cada punto de su dominio que no es eventualmente periódico (Pigliucci, 2000).

En caso de querer predecir la evolución del sistema dinámico caótico con un error inferior a un valor determinado, se necesitaría conocer el estado inicial exacto del sistema, sin hacer aproximaciones del mismo, ni de los progresivos estados obtenidos, puesto que no hay especificación tolerable de error en los datos iniciales. Cada órbita presenta individualidad en su evolución; el sistema es determinista porque la misma causa produce el mismo efecto (Catsigeras, 2000).

La complejidad es la propiedad del sistema del mundo real que se presenta en la imposibilidad de cualquier tipo de sistema formal para aprehender debidamente todas sus propiedades, su proceder completo, aunque se tenga información completa de sus elementos y sus interrelaciones (Olmedo, García & Mateos de Cabo, 2005). Es un fenómeno cuantitativo con una gran cantidad de interacciones entre un elevado número de unidades (Morin & Pakman, 1994, p.59).

Para muchos, un futuro lleno de cambios y complejo representa una perspectiva desalentadora, pero hay maneras de hacerle frente a la complejidad (Waltuck, 2011). Una de esas maneras tiene que ver con la adaptación de los sistemas a los cambios. Así, un sistema adaptativo complejo consiste en agentes actuando en paralelo, en modelos de funcionamiento que se refinan mediante el aprendizaje y la adaptación (Ossa, 2008).

2.3 Aplicaciones de los Modelos de Caos y Complejidad en la Cadena de Suministros del Sector Agroindustrial Colombiano

El sector agroindustrial colombiano al tener una cadena de suministros diversificada, compuesta por distintos eslabones y agentes, está expuesto a muchas alteraciones de orden político, social y económico. Las medidas gubernamentales, la inseguridad, la competencia internacional, las manifestaciones sociales, las variaciones en los precios internacionales de los commodities, las tasas de cambio y las cuotas arancelarias son los principales factores de alteración a lo largo de la cadena.

La ausencia de políticas gubernamentales en muchas regiones del país, ha conllevado a que los productores no tengan las mínimas condiciones y recursos para garantizar productos de calidad con una cadena de suministros, inocuidad y sanitariedad aptas para competir con otros países. Así mismo, hacen falta políticas inclusivas en las que se abarquen todos los actores dentro de la red agroindustrial hace que se presenten consecuencias caóticas, ya que los intereses de muchos actores se ven vulnerados y no se tienen en cuenta en las condiciones actuales. El diseño actual del negocio agroindustrial colombiano no ha adoptado el entramado óptimo que debe darse entre políticas de calidad, seguridad y sostenibilidad de oferta para ser competitivos reconociendo la cualidad de complejidad que posee este sector (Rugeles & Jolly, 2006). Dado esto, el Grupo de Investigación Redes y Territorio (RAET) trata de encontrar aspectos analíticos que puedan brindar un conocimiento tal que permita establecer relaciones de causalidad, y normativas basadas en políticas para cumplir dicha relación causal.

En los estudios realizados por el RAET, se hace enfoque sobre la tierra antes que sobre los gremios, es decir, las políticas gubernamentales deberían ir no sólo enfocadas al subsector arrocero, avicultor, azucarero, bovino, etc. Sino llegar a la aprehensión de la tierra con su sociedad y cultura y de manera incluyente acercando a todos los agentes. A medida que la relación de todos ellos sea más institucionalizada, habrá mayor sinergia y se generará una identidad que hará que todos dirijan sus intereses hacia un mismo lado y se minimicen las alteraciones a lo largo de la cadena de suministro. Sin embargo, para tratar de entender todos los factores que alteran el sistema complejo agroindustrial se debe ser consciente de la no linealidad que éste presenta, por lo cual, a la hora de analizarlo a la luz de las teorías del caos y la

complejidad se debe renunciar al reduccionismo y aceptar que éstas son independientes del objeto, no necesariamente aduciendo a numerosidad y tamaño, sino a las distintas posibilidades, restricciones y estructuras que se puedan presentar, para lograr lo que describe Reynoso (2004) como la autopoiesis de este sector similar a un sistema adaptativo complejo.

En los diferentes eslabones de la cadena agroindustrial hay un universo de posibilidades de variación; por ejemplo, en la etapa del productor primario se necesitan diferentes insumos que no son producidos nacionalmente o que los producidos nacionalmente no son competitivos frente a los importados. En el proceso de engorde se utilizan materias primas como maíz, torta de soya y trigo que tienen cotización internacional en bolsas de commodities. Las cotizaciones *spot* de estos commodities en las bolsas no tienen en cuenta algunas variables que afectan las condiciones del producto, pues éste puede sufrir alteraciones en los momentos de almacenamiento y de transporte. De igual manera, un mismo producto puede tener diferentes estados que tienen gran incidencia en la decisión del productor primario para comprar. En el caso del maíz amarillo, los avicultores son detallistas con la procedencia del maíz (preferiblemente americano), el color, las impurezas y el nivel de humedad. Para estos actores, pese a que exista un precio más bajo de un maíz frente a otro, buscarán las mejores condiciones de limpieza, color y tamaño del grano, ya que será más beneficioso para sus aves y tendrán un mejor producto que ofrecer. Este proceso de compra de insumos, como condición inicial de la cadena de suministros agroindustrial, podrá dar como resultado final un producto de alta calidad con gran demanda, o, si no se hace bien, un mal producto con baja demanda y pérdidas económicas (Coronado, Castillo & Celso, 2011). Dentro de los estudios que se han realizado para determinar la no linealidad del precio *spot* del maíz amarillo, se han encontrado periodos con esta característica, bajo análisis de bicorrelaciones y el estadístico de Hinich portmanteau. Las razones por las cuales se han podido presentar estas dependencias no lineales pueden deberse a que los agentes económicos en su momento no disponían de información completa, además de distintos fenómenos climatológicos que interfieren en el cambio del precio.

No es nuevo que este tipo de condiciones alteren precios dentro de la cadena de suministros agroindustrial. Según Caicedo (2007), en el subsector bovino al ocurrir el fenómeno del niño, con la sequía el ganado pierde peso por la escasez de comida, alterando igualmente los precios. En el caso de los azucareros, en temporada de lluvias tiende a subir el precio del azúcar

porque el corte industrial de la caña se dificulta por las condiciones del terreno para que entre la máquina cortadora, por lo que hay que realizar corte manual, disminuyendo la producción y consecuentemente la oferta incrementando precios. En esta situación específica del azúcar es posible identificar que la institucionalización de las cadenas agroindustriales minimiza los impactos económicos ante variaciones en condiciones iniciales, dado que algunos ingenios azucareros están bajo integración vertical con la industria gaseosera, y esta a su vez con los productores de envases de vidrio, todos ellos a disposición de un mismo grupo económico, por lo cual, las volatilidades del mercado y los eventos de cambio de condiciones son absorbidos de manera conjunta. Así, ante una eventual alza en el costo del azúcar, las empresas de gaseosas dentro del mismo grupo de los ingenios azucareros presentan resultados más favorables que aquellas que lo compran de manera independiente. De esta manera, se mantiene como constante en el tiempo para estas empresas la cualidad de rentabilidad, haciendo de esta el atractor que determina sus finanzas.

Las cuotas arancelarias y las tasas de cambio alteran las compras de insumos importados. En una época de devaluación del peso, desde el gobierno se ha ordenado eliminar el arancel para ciertas materias primas agroindustriales con el fin de minimizar el impacto a lo largo de la cadena agroindustrial y que el consumidor final no tenga que pagar por los incrementos de costos en el proceso de producción, manteniendo las metas de inflación e IPC que desde el Banco de la República se proyectan. Sin embargo, dentro de la cadena de suministros existen distribuidores que realizan el almacenamiento de éstas mercancías, y puede presentarse un desfase en el precio del inventario que manejan respecto al precio sin arancel, lo que podría significar pérdidas para estos agentes de la cadena, teniendo que sujetarse a un nuevo precio inferior (Querol, 1977). No obstante, al mismo tiempo puede ser favorable esta situación para los productores agrícolas nacionales que pueden suplir la demanda de los insumos extranjeros. Visto desde este punto, se llega a una reconciliación entre lo sectorial y lo territorial, el sector agroindustrial colombiano abasteciéndose con insumos producidos por colombianos, involucrando mejor los actores del entramado complejo agroindustrial, reduciendo variables, por lo cual el sistema será más estable.

3. CONCLUSIONES

Las teorías del caos y complejidad han sido materia de estudio inicialmente en las ciencias naturales y con el transcurso del tiempo han sido adaptadas a diferentes aplicaciones en las más diversas disciplinas del conocimiento. Sus conceptos han sido útiles para comprender temáticas desde las ciencias sociales hasta mercados financieros. Estos conceptos permiten abordar la administración desde una perspectiva menos lineal, y ofrecen una percepción amplia para abordar situaciones que involucren muchas variables en el momento de tomar decisiones gerenciales y analizar entes económicos.

En lo que respecta al sector agroindustrial, específicamente en la cadena de suministros, se puede concluir que para el caso colombiano no existe una articulación correcta de productores con procesadores y comercializadores, por lo cual, ante una afectación externa que impacte a alguno de ellos derivará en un daño que afecta a los más débiles dentro de la cadena sin soportar las pérdidas como sector, sino de manera independientemente. Hay que precisar que las agremiaciones se conforman entre agentes que realizan la misma función dentro de la cadena pero no a través de ella, las agremiaciones de productores y las agremiaciones de procesadores se encuentran por separado, lo que genera disparidad de intereses y no una estrategia sectorial sólida. Estas características le dan la cualidad a la cadena de suministros agroindustrial de sistema complejo, y al estar compuesto de diferentes agentes que se adaptan a las condiciones externas que el mercado y la macroeconomía nacional les imponen, se concibe la agroindustria como un sistema adaptativo complejo.

Finalmente, se concluye que las teorías del caos y complejidad se encuentran presentes dentro de la cadena de suministros del sector agroindustrial colombiano, ya que en ella se presenta la interconexión entre productores, procesadores y comercializadores, interactuando entre ellos y presentando alteraciones en su comportamiento económico a lo largo del tiempo en función de variaciones de las condiciones iniciales influenciadas por variables macroeconómicas, ambientales, sociales y políticas, por lo cual, con la comprensión de la diversidad de entes que componen el sector se puede apelar a estrategias sectoriales que busquen la perdurabilidad del negocio agroindustrial por medio de herramientas deterministas.

4. RECOMENDACIONES

Para que el sector agroindustrial junto con la cadena de suministros se desarrollen, es necesario la continua investigación y monitoreo del comportamiento de los subsectores que lo conforman frente a las alteraciones que están sufriendo. Se recomienda que las asociaciones gremiales realicen este trabajo de monitoreo e investigación y que se aventuren a utilizar nuevas técnicas y teorías para tratar de comprender de una mejor manera el entramado complejo de la agroindustria. Se debe dejar a un lado el reduccionismo y se debe tener en cuenta la cualidad no lineal del sector. Además, se recomienda apoyo del gobierno mediante ayudas para los productores primarios, de esta forma evitar la concentración de tierras y productores, con esto el surgimiento de carteles que causen problemas socio-económicos. Finalmente se recomienda la inversión en tecnología e innovación para mitigar las posibilidades de alteración en las condiciones iniciales.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, L., Hernández, O., & González, M. (2015). La gestión de la cadena de suministro: elemento clave para el rendimiento de la pyme manufacturera. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 10(1), 516-522.
- Albán, Á. (2011). Reforma y Contrarreforma Agraria en Colombia. *Revista de Economía Institucional*, 13(24), 327-356.
- Arias, M., & Preciado, M. (2015). Paro Nacional Agrario: paradojas de la acción política para el cambio social. *Íconos: Revista de Ciencias Sociales*, 13(54), 107-123.
- Ball, M. (1989). Chaos and Economics. *Economic Affairs*, 9(3), 27-30.
- Bruzco, M. L. (2012). El efecto mariposa y sus implicaciones estratégicas en el contexto organizacional. *Ciencias Estratégicas*, 20(27), 39-49.
- Caicedo, E. (2007). El fenómeno del Niño y su posible impacto en Colombia. *Reportes del Emisor*, 2(92), 1-4.
- Catsigeras, E. (2000). La teoría matemática del caos determinista. *Lapzus de cultura*, 4(2), 22-28.
- Cerón, A. F., Osorio, O., & Hurtado, A. (2011). Identificación de ácidos grasos contenidos en los aceites extraídos a partir de semillas de tres diferentes especies de frutas. *Acta Agronómica*, 61(2), 126-132.
- Coronado, S. L., Castillo, V. M., & Celso, P. L. (2011). El mercado de commodities: episodios de no linealidad en el rendimiento diario del precio spot del maíz amarillo. *Revista de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales*, 4(1), 125-138.
- Cuevas, R., Masera, O., & Díaz, R. (2004). *Calidad y competitividad de la agroindustria rural de América Latina y el Caribe*. Roma: FAO.

- DeCoster, G., Labys, W., & Mitchell, D. (1992). Evidence of Chaos in Commodity Futures Prices. *The Journal of Future Markets*, 12(3), 291-305.
- DiazGranados, C., & Chaparro-Giraldo, A. (2012). Métodos y usos agrícolas de la ingeniería genética aplicada al cultivo del arroz. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(2), 179-195.
- Ducua, A. (2011). Raíces de la agroindustria en el Huila: el arroz, pionero de un incipiente desarrollo industrial (1930-1990). *Historia Caribe*, 6(18), 165-185.
- Echeverry, R. D., & Silva, T. F. (2009). Identificación de los principales factores que afectan el desempeño competitivo del subsector avícola en el Valle del Cauca (Colombia). *Pensamiento y Gestión*, 1(27), 284-318.
- Gómez, D. M., Palacios, Y. A., & Villareal, N. F. (2007). *Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Guerrero, M., & Narvaez, P. C. (2004). Prospective study for the production of oleochemicals derivatives from castor oil in Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 24(1), 3-14.
- Hurst, H. E. (1956). The Problem of Long-term Storage in Reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1(3), 13-27.
- Juárez, F. (2010). Caos y salud en el sector económico de la salud en Colombia. *International Journal of Psychological Research*, 3(2), 29-33.
- Juárez, F. (2014). Review of the principles of complexity in business administration and application in financial statements. *African Journal of Business Management*, 8(2), 48-54.
- Julca-Briceño, B. M., & Fava, M. (2011). Caracterización de sistemas agroindustriales: un estudio comparativo de los sectores sucroenergéticos de Brasil y Colombia. *Interciencia*, 36(5), 356-364.

- Lafaurie, J. F. (2006). *Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019*. Bogotá: San Martín Obregón & Cia.
- Londoño, L. F. (2014). *Aspectos generales del sector azucarero colombiano 2013-2014*. Cali: ASOCAÑA.
- Lyapunov, A. (1947). Problème général de la stabilité du mouvement. *Annals of Mathematics Studies*, 17(1), 392-407.
- Mahecha, L., Gallego, L., & Peláez, F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 213-225.
- Manuj, I., & Sahin, F. (2011). A model of supply chain and supply chain decision-making complexity. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(5), 511-549.
- Martínez, H. (2005). *La cadena del azúcar en Colombia*. Bogotá: Agrocadenas.
- Merino, M. C., Bonilla, S. P., & Bages, F. (2013). *Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia*. Bogotá: RM Gráficos.
- Morin, E., & Pakman, M. (1994). *Introducción al Pensamiento Complejo*. Barcelona: Gedisa.
- Musselman, S. (2007). The Butterfly Effect. *Printing Impressions*, 49(11), 77-78.
- Olmedo, E., Garcia, J., & Mateos de Cabo, R. (2005). De la linealidad a la complejidad: hacia un nuevo paradigma. *Cuadernos de Estudios Empresariales*, 2(15), 73-92.
- Osorio, A., Wills, A., & Muñoz, A. P. (2013). Caracterización de Coproductos de la Industria del Fileteado de Tilapia Nilótica y Trucha Arcoiris en Colombia. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 60(3), 182-195.
- Ossa, N. (2008). Economía: una visión a la luz de la complejidad. *Ecos de Economía*, 12(27), 221-234.

- Parisi, F., Espinosa, C., & Parisi, A. (2007). Pruebas de Comportamiento Caótico en Índices Bursátiles Americanos. *El Trimestre Económico*, 74(296), 901-927.
- Parrado, Y. A. (2012). Historia de la acuicultura en Colombia. *AquaTIC*, 1(37), 60-77.
- Pigliucci, M. (2000). Chaos and Complexity, Should we be Skeptical? *Skeptic*, 8(3), 62-70.
- Querol, V. (1977). La cuota de importación como barrera comercial. *Comercio Exterior*, 27(4), 476-481.
- Reynoso, C. (2004). Herramientas de complejidad y caos para las ciencias sociales. *Boletín de Antropología Americana*, 5(40), 6-19.
- Rivera, H., Malaver, J. D., Peña, K. T., & Malaver, M. N. (2011). *Perdurabilidad Empresarial: el caso del sector avícola en Colombia*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Rojas, R. L. (2012). Contrabando de Arroz. *Revista Arroz*, 60(498), 1.
- Rugeles, L. E., & Jolly, J.-F. (2006). Hacia la construcción de modelos agroempresariales en una perspectiva territorial. *Cuadernos de Administración*, 19(32), 295-317.
- Salcedo, R., & Stiglich, E. (2004). Abuso de poder de compra y determinación de los precios en el mercado de arroz cáscara. *Debate Agrario*, 2(37), 39-72.
- Santana, A. (2012). *Logros, legados y derroteros*. Bogota: Sanmartín Obregón & Cia.
- Santana, A., Camacho, C., & Estévez, L. (2009). *Competir e innovar, la ruta de la industria bovina*. Bogotá: Una Tinta Medios Ltda.
- Secretaría de Desarrollo Económico. (2013). *Sector Agroindustrial*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Seland, D. (2012). Chaos Theory: Keeping things under control. *Quality*, 51(13), 6.
- Sellamen, A. (2013). Estado del arte sobre los fondos parafiscales agropecuarios. *Criterio Libre*, 11(18), 73-112.

Suárez, J. C., Santana, J. C., & Moreno, D. (2011). *Informe del Sector Ganadero colombiano*. Bogotá: Compañía de Profesionales de Bolsa S.A.

Universidad del Rosario. (2016). *Documento Maestro Linea de Investigación Finanzas y Marketing*. Bogotá, Colombia: Autor.

Van Ausdal, S. (2009). Potreros, ganancias y poder. *Historia Critica*, 1(16), 126-149.

Viera, S. (2012). *Perfil Sector Agroindustrial Colombiano*. Bogotá: Sociedad de Agricultores de Colombia.

Waltuck, B. (2011). Exploring Chaos and Complexity. *Journal for Quality & Participation*, 34(3), 20-21.