

# Dinámica de sistemas aplicado en el análisis de cadenas productivas agroindustriales en el departamento de Bolívar

System dynamics applied in the analysis of productive agro-industrial chains in the department of Bolívar

**Julio Adolfo Amézquita López**

*ipreg1@unicartagena.edu.co*

**Karen Margarita Chamorro Salas**

*kchamorros@unicartagena.edu.co*

*Grupo de Investigación CTS - Universidad de  
Cartagena - Colombia*

*Fecha de recepción: Enero 10 de 2013*

*Fecha de aceptación: Febrero 19 de 2013*

## **Palabras clave**

Cadenas productivas agroindustriales; dinámica de sistemas; productividad agrícola; simulación.

## **Keywords**

Productive agro-industrial chains; system dynamics; agricultural production; simulation.

## **Colciencias tipo 1**

*El artículo es producto del proyecto de investigación Diagnóstico Competitivo del Departamento de Bolívar a partir del Análisis de las Cadenas Productivas Agroindustriales, financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación [Colciencias], en el marco de la Convocatoria Nacional No. 510 para el Programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores Virginia Gutiérrez de Pineda, año 2010. El documento se ha construido a partir de la ponencia del mismo nombre, presentada por los autores en el 10° Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, organizado en de 2012 por la Universidad Icesi y la Universidad del Valle, bajo la temática: Dinámica de sistemas: Un enfoque de gestión y solución de problemas. El documento es inédito.*

## **Resumen**

En este artículo se presenta un modelo de redes que permite simular el comportamiento de las principales cadenas productivas agroindustriales pertenecientes al Departamento de Bolívar. El modelo fue construido integrando en una sola red los componentes de costo, producción y utilidad de los actores de las diferentes cadenas; se elaboró el modelo de redes con la ayuda del software *I Think*. Al definir las principales variables que caracterizan el modelo se plantearon diferentes escenarios para determinar la sensibilidad de las mismas y cómo estos cambios afectan la productividad, el empleo y la utilidad de los actores.

## **Abstract**

This article presents a networking model that allows to simulate the behavior of the of the principal productive agro-industrial chains belonging to the Department of Bolívar. The model was built by integrating in a single model the components of cost, production and utility of each of the actors in the different chains; the model of networks elaborated with the help of the software *I Think*. On having defined the principal variables that characterize the model raised different scenarios to determine the sensitivity of the same and as these changes affect productivity, employment, and the utility of the actors.

---

## **I. Introducción**

En la actualidad se puede apreciar el uso de la dinámica de sistemas en diversas disciplinas, entre ellas su aplicación en los sistemas agroalimentarios para el análisis del comportamiento de variables asociadas al desarrollo del campo. La Dinámica de Sistemas es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos. Una de sus características es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo (Morlán, 2010).

Para apoyar el proceso de modelación y simulación con dinámica de sistemas existen herramientas computacionales y software que han hecho posible el uso y la difusión de esta práctica en sectores diversos como la educación, la investigación, la empresa, lo ambiental y lo social, entre otros (Andrade, Lince, Hernández, & Monsalve, 2011).

Los modelos de Dinámica de Sistemas recrean situaciones reales en mundos virtuales, en los cuales se puede observar el impacto de los cambios en el sistema de forma inmediata, lo que permite replantear acciones y, por ende, tomar mejores decisiones respecto de una situación real (Sterman, 2000).

Por consiguiente, se desarrolló un modelo de redes para las principales cadenas productivas agroindustriales del Departamento de Bolívar, con el objetivo de integrar en una sola red varias cadenas para determinar su comportamiento en conjunto y evaluar los resultados obtenidos ante diferentes escenarios.

## **II. Producción agrícola en Bolívar**

La producción agrícola en Bolívar es diversificada entre productos tradicionales, anuales y permanentes; para 2010, fue el departamento líder a nivel nacional en la producción de diversos productos agrícolas, tales como: ñame, maíz tradicional, ajonjolí y níspero; y uno de los cinco departamentos mayores productores de yuca, aguacate, mango, ají dulce, tabaco, ají tabasco, arroz, berenjena, ciruela y melón.

La Figura 1 presenta la estructura productiva Bolívar 2000–2010; al analizar las cifras de producción para los últimos 11 años, se evidencia que alrededor de 32 productos conforman la producción agrícola en Bolívar; siendo líderes los cultivos de yuca, ñame, maíz tradicional, plátano, aguacate, maíz mecanizado y mango, los cuales presentan crecimientos en su producción de entre 3% y 116% en 2010, siendo la yuca el principal cultivo (con crecimiento de 116%), seguido por el ñame (con 88%).

Teniendo en cuenta la participación porcentual de cada cultivo en la producción agrícola para 2010, los cultivos de yuca, ñame, maíz tradicional y plátano concentran el 61% de la producción agrícola del departamento. La producción de estos cultivos suma en total

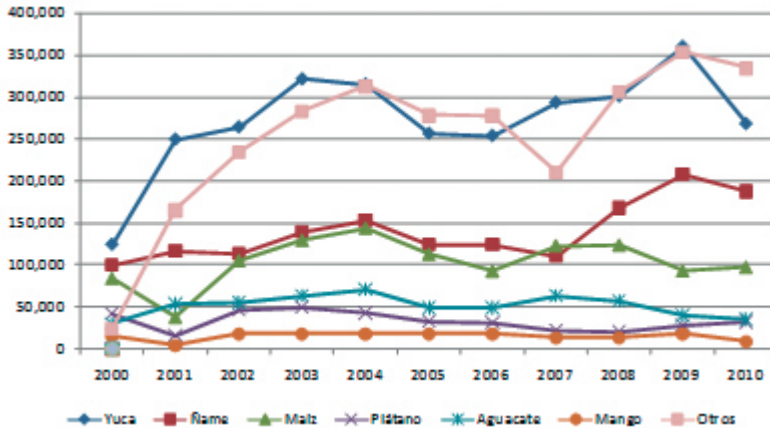


Figura 1. Estructura productiva 2000- 2011

574.312 toneladas de las 944.435 toneladas totales producidas para ese año; por lo tanto, para ese año se consideran los más representativos en relación con la producción.

### III. Descripción del problema

En Bolívar, las cadenas productivas agrícolas vinculadas al procesamiento de alimentos, bebidas, productos de la industria química, entre otros, no se encuentran totalmente especificadas ya que, hasta ahora, gran parte de los análisis realizados separan la producción agrícola de la industrial; por tanto, no se tiene un conocimiento específico del uso dado a este tipo de materia prima en los procesos industriales locales, nacionales e internacionales. Debido a lo anterior, existe una comprensión parcial de los obstáculos que impiden una mayor competitividad de los diferentes productos, por ello se requiere lograr la integración de todo el proceso productivo agrícola, mediante la utilización de modelos de simulación de red confiables, que permitan visualizar posibles alternativas y estrategias productivas para superar tales debilidades y mejorar la manera de producir las cantidades óptimas con la calidad necesaria para un desarrollo efectivo (Amézquita, Vergara, & Maza, 2008).

Teniendo en cuenta que Bolívar genera productos provenientes de las cadenas productivas agroindustriales que son distribuidos a diferentes lugares y mercados cada vez más competitivos, caracterizados por la presencia de actores eficientes y dispuestos a disminuir sus costos sin sacrificar la calidad de sus productos y abastecer al consumidor final la cantidad que corresponde con sus necesidades, es necesario utilizar los modelos de redes y herramientas de simulación, para tener una idea global del comportamiento de variables que son determinantes en el desarrollo económico y productivo, con la finalidad de garantizar la sostenibilidad del departamento.

Al trabajar con modelos de redes y simulación se podrá establecer escenarios que, como un trabajo prospectivo serio, permitirán potencializar las alternativas de desarrollo de cada cadena; además es el espacio virtual donde se podrán conducir

experimentos a través de la adición de variables para construir escenarios de desarrollo o la modificación de sus valores para recrear potenciales estados que serán evaluados a partir de las variables de salida (Mancilla, 1999), permitiendo observar qué afecta la productividad y diseñar estrategias de cara al escenario competitivo actual.

Por lo tanto, se elaboró un modelo de red que integra las principales cadenas productivas agrícolas con sus respectivas variables y se plantearon escenarios de simulación para determinar la sensibilidad de ciertas variables; para esto se utilizó el software de simulación *I Think*.

#### IV. METODOLOGÍA

*I think* se utilizó para modelar las cadenas productivas agroindustriales. Primero se recopiló información relevante y datos estadísticos históricos para el periodo 2000–2010, relacionados con la producción agrícola, hectáreas sembradas y cosechadas, productividad, mano de obra, entre otros, provenientes de: las *Evaluaciones Agropecuarias* de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Bolívar; el Sistema de Información Agrícola [AGRONET], del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; y la *Encuesta Nacional Agropecuaria* [ENA] del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). A partir de esta información se caracterizaron las principales cadenas productivas agroindustriales, se identificaron los actores, las relaciones comerciales y los productos agroindustriales provenientes de las principales cadenas agrícolas.

Luego se definieron las variables de entrada, salida y de proceso para construir el modelo de redes y simular el comportamiento de las cadenas productivas; además se plantearon escenarios de sensibilidad para analizar el comportamiento e impacto de ciertas variables en la productividad, valor agregado y generación de empleo de las cadenas productivas. Finalmente, en la etapa de simulación de escenarios, se modificaron diferentes variables y se determinó cuál fue la influencia de dichos cambios en el comportamiento del sistema.

#### V. Descripción del modelo

Teniendo en cuenta que los modelos de redes son una representación simplificada de algunos aspectos de la realidad, en este capítulo se presenta el modelo de red diseñado con las principales cadenas productivas (yuca, ñame, plátano, aguacate y mango) mediante el software *I Think*, para comprender el comportamiento de algunas variables frente a ciertos escenarios. Se elaboró la red de simulación para los componentes de producción (Figura 2) y costos (Figuras 3 y 4).

El modelo tiene como objeto proporcionar una herramienta que permita conocer el comportamiento de las cadenas productivas de yuca, ñame, plátano, aguacate y mango de forma integrada.

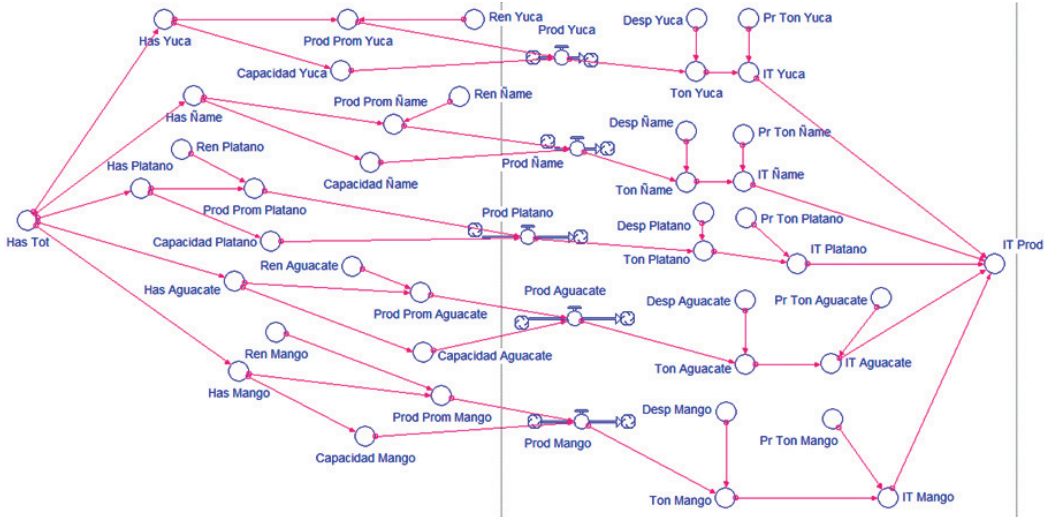


Figura 2. Red de Simulación: Componente Producción

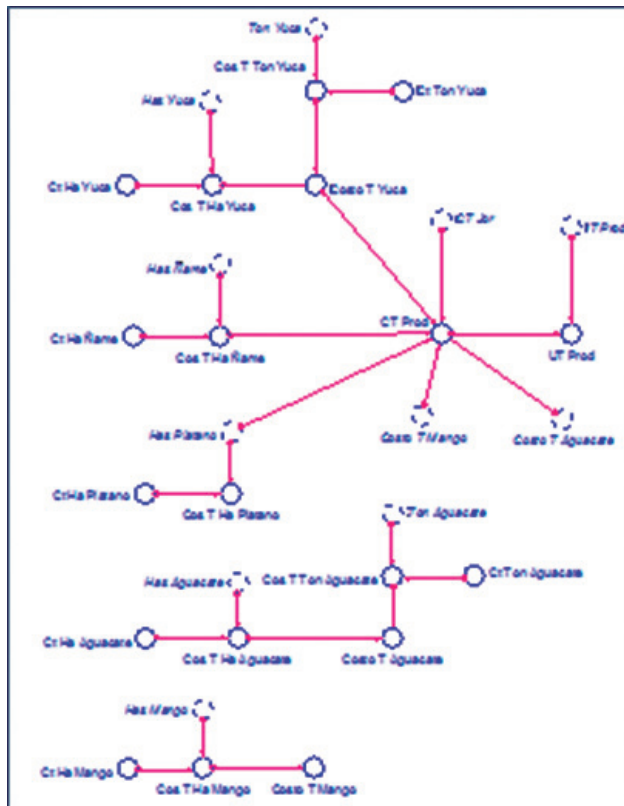


Figura 3. Modelo Red: Componente Costos (Morlán, 2010)

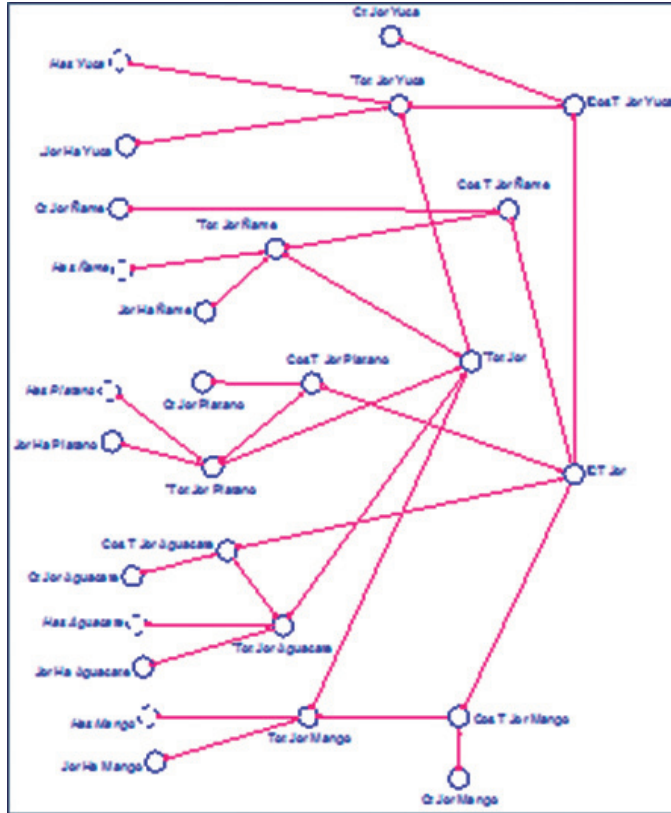


Figura 4. Modelo Red: componente costos (Andrade et al, 2012)

## VI. Resultados

Una vez construido el modelo se procedió a realizar un análisis de sensibilidad para lo cual se realizaron ciertas variaciones de la situación actual de las cadenas: aumentos o disminuciones en una o más variables mientras que las demás se mantienen constantes. A continuación se presentan los resultados basados en dos escenarios propuestos.

### A. Aumento y disminución de las hectáreas cosechadas

Para 2010, como se muestra en la Tabla 1, la distribución de las hectáreas destinadas para los cultivos de yuca, ñame, plátano, aguacate y mango, corresponden a 57.648 hectáreas, lo que equivale al 32% de las hectáreas cosechadas en el departamento de Bolívar.

En este escenario se plantean aumentos y disminuciones del 10% en los porcentajes de participación de las hectáreas cosechadas para los cultivos de yuca y ñame; manteniéndose constante las demás variables y determinando el efecto sobre la utilidad de los diferentes actores y el empleo.

La Tabla 2 muestra los porcentajes en que varían las utilidades de los actores, la producción y la generación de empleo de las cadenas de yuca y ñame; cuando cambian

**Tabla 1.** Distribución Has por cultivos

Cultivos	Hectáreas	Participación (%)
Yuca	32.859	57
Ñame	16.718	29
Plátano	4.035	7
Aguacate	3.459	6
Mango	576	1
Total	57.648	100

los porcentajes de participación de las hectáreas cosechadas. Todos los actores sufren variaciones similares, ya sean ganancias y/o pérdidas; es decir, si las variaciones son negativas, se disminuyen sus utilidades, así mismo, si las variaciones son positivas se refleja un aumento en sus ganancias. Los porcentajes corresponden a yuca +/- 18% y ñame +/- 34%, para cada una de las variables.

**Tabla 2.** Variación de las hectáreas cosechadas yuca y ñame

Variación	Yuca				
	%	Has	Ton	Utilidad Actores	Empleo
-	47	27.045	224.343	18%	18%
Inicial	57	32.859	272.076	17.958*	11.041
+	67	38.624	319.808	18%	18%
Variación	Ñame				
	%	Has	Ton	Utilidad Actores	Empleo
-	19	10.953	102.390	34%	34%
Inicial	29	16.718	156.279	31.197*	9.295
+	39	22.483	210.168	34%	34%

### **B. Aumento y disminución de los rendimientos por hectárea**

Para este escenario se consideran algunas variaciones en los rendimientos de los diferentes cultivos, bajo el supuesto de que se utilicen semillas mejoradas y técnicas y tecnología para la siembra y cosecha con el objetivo de alcanzar los rendimientos de acuerdo con sus capacidades. La Tabla 3 muestra cada uno de los rendimientos registrados para 2010, los cuales están por debajo de la capacidad de producción de cada cultivo; por lo tanto, se planteó este escenario en el que cada cultivo alcance su capacidad máxima y se determinaron los cambios en las demás variables del modelo.

**Tabla 3.** Capacidad y rendimientos por cultivos

Variables	%	Hectáreas	Capacidad Ton/Ha	Capacidad Final	Rendimientos Ton/Ha
Has Yuca	0.57	32.859	12	394.312	9
Has Ñame	0.29	16.718	12	200.615	11.4
Has Plátano	0.07	4.035	14	564.95	7.9
Has Aguacate	0.06	3.459	16	553.42	10
Has Mango	0.01	5.76	17	9.800	13.5
Total		57.648			

A continuación, en la Tabla 4 se muestra como varían los porcentajes de las utilidades de los actores de las cadenas de yuca, ñame, plátano, aguacate y mango cuando cambian los rendimientos. Todos los actores sufren variaciones similares en sus ganancias y en la producción; sin embargo el productor es el más sensible ante las variaciones, es decir, al aumentar los rendimientos por hectáreas él obtiene el mayor porcentaje de aumento en sus ganancias. Para el caso de la yuca las variaciones corresponden a 33% para cada una de las variables, exceptuando la utilidad del productor; lo mismo sucede con los demás cultivos, siendo las variaciones para el cultivo de ñame del 5%, plátano 77%, aguacate 60% y mango 20%. En cuanto a las utilidades del productor para cada una de las cadenas presentan los mayores niveles de variación, siendo en el caso de la yuca de 157%, ñame 12%, plátano 207%, aguacate 100% y mango 47%.

**Tabla 4.** Variaciones de las utilidades (\$ en millones)

	Variables	Yuca	Ñame	Plátano	Aguacate	Mango
Inicial	Producción (Toneladas)	272.076	156.279	19.128	25.942	3.891
	Utilidad Productor (\$)	17.958	41.239	4.999	12.823	967
	Utilidad Acopiador (\$)	29.384	7.077	52	25.842	607
	Utilidad Mayorista (\$)	31.197	8.266	295	22.045	151
	Utilidad Agroindustrial (\$)	10.471	6.502	323	10.661	1.78.
Variaciones	Producción (Toneladas)	362.767	164.504	33.897	41.506	4.900
	Utilidad Productor (\$)	46.073	46.338	15.337	25.664	1.421
	Utilidad Acopiador (\$)	39.178	7.450	92	41.347	765
	Utilidad Mayorista (\$)	41.596	8.701	523	35.273	191
	Utilidad Agroindustrial (\$)	13.961	6.844	573	17.058	1.735
Variaciones Porcentuales	Producción (%)	33	5	77	60	26
	Utilidad Productor (%)	157	12	207	100	47
	Utilidad Acopiador (%)	33	5	77	60	26
	Utilidad Mayorista (%)	33	5	77	60	26
	Utilidad Agroindustrial (%)	33	5	77	60	26



## Conclusiones y trabajo futuro

En Bolívar existen factores comunes en las principales cadenas que le restan productividad, entre los cuales que se destacan: el bajo nivel tecnológico, los altos costos del transporte debido al mal estado de las vías rurales, los bajos rendimientos por hectárea (para el caso de algunos cultivos, debido al uso de semillas con enfermedades o problemas fitosanitarios), la poca asistencia para el manejo integral de los cultivos, el poco manejo agronómico y los grandes porcentajes de pérdida de la cosecha.

En las cadenas productivas agroindustriales se identificaron diferentes actores que coinciden para todas las cadenas, entre los cuales se encuentran: productores, acopiadores, mayoristas, minoristas, industriales, exportadores, consumidor final y entidades de apoyo públicas y privadas.

Se construyó un modelo en Dinámica de Sistemas que permitió conocer el comportamiento de las cadenas productivas agroindustriales en Bolívar.

En relación con la metodología de dinámica de sistemas y simulación, se puede concluir que es una herramienta útil que permite, inicialmente, una visión integrada de los sistemas y una mejor comprensión de su comportamiento; a su vez, permite percibir la situación actual y determinar qué cambios pueden generar impactos positivos o negativos al sistema o a ciertas variables.


En cuanto a la simulación, al presentarse aumentos y disminuciones del 10% en los porcentajes de participación de las hectáreas cosechadas para ciertos cultivos, se presenta que todos los actores sufren variaciones similares, ya sean ganancias y/o pérdidas.

Al considerarse algunas variaciones en los rendimientos de los diferentes cultivos con el objetivo de alcanzar los rendimientos de acuerdo con sus capacidades, todos los actores sufren variaciones similares en sus ganancias y en la producción; sin embargo, el productor es el más sensible ante las variaciones, es decir, al aumentar los rendimientos por hectárea él obtiene el mayor porcentaje de aumento en sus ganancias.

La aplicación de los modelos de simulación permite generar aprendizajes que a su vez les permiten a los diferentes actores plantear soluciones con miras a la competitividad. Para mejorar la competitividad de las cadenas productivas en Bolívar, las apuestas deben estar orientadas a:

- realizar cambios tecnológicos que aumenten la productividad de los cultivos y desarrolle el comercio los productos;
- fomentar la creación de programas de transferencia de nuevas tecnologías para el desarrollo de los cultivos;
- diseñar políticas que incentiven la producción agrícola con mayor acompañamiento y asistencia técnica para el mejoramiento de los cultivos;
- fomentar la creación de empresas que se dediquen a la transformación de los

productos agrícolas para que jalonen la producción de los mismos;

- desarrollar programas que potencialicen los diferentes cultivos a partir del desarrollo de nuevas variedad para obtener mayores rendimientos por hectárea; y
- plantear proyectos para el mejoramiento de las vías rurales en Bolívar, para lograr mejores niveles de competitividad. 

## Referencias bibliográficas

---

- Amézquita, J., Vergara, J., & Maza, F. (2008). *Simulación de cadenas agroindustriales: estudio del caso de la cadena productiva del mango en el departamento de Bolívar mediante dinámica de sistemas y simulación de escenarios*. Cartagena, Colombia: Universidad de Cartagena
- Andrade, H., Lince, E., Hernández, E., & Monsalve, A. (2011). Evolución: herramienta software para modelado y simulación con dinámica de sistemas. *Revista de Dinámica de Sistemas*, 4(1), 1-27
- Mancilla, H. (1999). Simulación: Herramienta para el estudio de sistemas reales. *Ingeniería y Desarrollo*, 6, 104-112
- Morlán, I. (2010). *Modelo de dinámica de sistemas para la implantación de tecnologías de la información en la gestión estratégica universitaria* [tesis de doctorado]. Universidad del País Vasco: San Sebastián, España.
- Sterman J.D. (2000). *Business dynamics*. Boston, MA: McGraw Hill
- Agronet (2012). *Sistema de Estadísticas Agropecuarias* [SEA] (Portal Web). Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas.aspx>

## ***Curriculum vitae***

### **Julio Adolfo Amézquita López**

Ingeniero Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana. Magíster en Administración de la Universidad Nacional. Docente de tiempo completo y director del Instituto de Políticas Públicas, Regionales y de Gobierno de la Universidad de Cartagena. Líder del grupo de investigación CTS - Unicartagena.

### **Karen Margarita Chamorro Salas**

Administradora Industrial de la Universidad de Cartagena. Estudiante de Maestría en Economía y Desarrollo Industrial con Mención en Pymes de la Universidad Nacional de General Sarmiento (Buenos Aires, Argentina). Joven Investigadora - Colciencias - Grupo de investigación CTS - Unicartagena.