

**MARCO DE TRABAJO PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN
AGRÍCOLA A PEQUEÑA ESCALA BAJO UN MODELO DE RESILIENCIA.**

**FRAMEWORK FOR SMALL-SCALE AGRICULTURAL PRODUCTION
PLANNING FOLLOWING A RESILIENCE MODEL.**

Leonardo Hernán Talero Sarmiento (UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER)

leonardo.talero@corro.uis.edu.co

Laura Yeraldin Escobar Rodriguez (UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER)

laura.escobar@correo.uis.edu.co

Edwin Alberto Garavito Hernández (UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER)

garavito@uis.edu.co

Resumen

El objetivo del presente proyecto es formular un marco de trabajo para la programación de la producción agrícola a pequeña escala, mediante la constitución de un mix de producción que integre diversos tipos de productos y minimice el riesgo de sus precios; esperando así aumentar la resiliencia alimentaria. El marco de trabajo es validado con datos de precios de productos comercializados en Bucaramanga, Santander, Colombia, concluyendo que a partir de la diversificación se generan escenarios de retornos de inversión conservadores, con suficientes beneficios para una unidad de producción agrícola según la cantidad de salarios mínimos generados.

Palabras Claves: Producción a pequeña escala, Programación de producción, resiliencia alimentaria.

Abstract

The objective of the present project is to perform a framework for small-scale agricultural production planning via establishing a production mix that integrates various types of products and minimizes their risk prices with an expected increase food resilience. The framework was validated with the data prices of agricultural products sold in Bucaramanga, Santander, Colombia. Concluding that diversification framework proposed, generated conservatives scenarios of investment, with high economic profits for an agricultural production unit based of the number of minimum wages generated.

Key-words: Food resilience, Production scheduling, Small scale production.

1. Introducción

La producción agrícola local o producción a pequeña escala ha adquirido una relevante importancia puesto que, tal cual expone Barthel (2013), tiene el beneficio de ser resiliente. Lo anterior puesto que disminuye el riesgo productivo propio de una mono actividad al diversificar productos. La diversificación de productos en zonas cercanas a cabeceras municipales o periurbanas a pesar de poder presentar costos más elevados que un monocultivo basado en economías de escala, tiene un mayor nivel de servicio, sobre todo en momentos cuando las líneas de distribución han sido amenazadas o cuando la infraestructura se encuentra comprometida debido a desastres naturales, temporadas climáticas o problemas de orden público (entre otros).

Por tanto, es necesario generar un cambio hacia un sistema alimentario más resistente que logre garantizar la soberanía y pueda soportar cambios bruscos en el sistema productivo, sobre todo externos a la esfera de control. Es necesario repensar el modelo contemporáneo de desarrollo regional que ha moldeado nuestro sistema alimentario actual (Hudson 2010). Mediante la identificación de escalas apropiadas de producción (como las periurbanas a pequeña escala), procesamiento, distribución y consumo; generando así economías más autónomas (TOTH; RENDALL; REITSMA, 2016) (CHRISTOPHERSON; MICHIE; TYLER, 2010), lo cual deriva en un mayor nivel de servicio y aumento de la calidad de vida.

El propósito de la presente investigación es formular un marco de trabajo para la programación de la producción agrícola a pequeña escala, mediante la construcción de un mix de producción compuesto por verduras, hortalizas, leguminosas, frutas y tubérculos, el cual es evaluado para la zona agrícola del Departamento de Santander, Colombia.

El cuerpo del presente trabajo consta de un capítulo denominado *Planteamiento del problema*, en el que se evidencia la necesidad de generar investigación aplicada en la industria agro productiva para cultivadores a pequeña escala y/o periurbanos, seguido de la *Metodología*, en donde es explicado el proceso para planear y programar la producción agrícola a partir de la selección de productos, construcción del mix de producción y la estimación del retorno de la producción. Finalmente, *Resultados, Discusiones, Conclusiones y Bibliografía*.

2. Planteamiento del problema

A partir del crecimiento poblacional mundial y el impacto del mismo en su entorno, las naciones han tenido que afrontar múltiples retos con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y la sostenibilidad ambiental de sus procesos, teniendo en cuenta lo anterior, la Organización de Naciones Unidas (ONU) ha definido diversos objetivos a cumplir en 2030, a manera de llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad (ORGANIZACIÓN De Las NACIONES UNIDAS, 2016). (ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES, 2015).

Para responder con eficacia a dicho llamado, es necesario re direccionar esfuerzos en frentes de trabajo que procuren favorecer diversos objetivos de manera simultánea, a la par de cubrir la mayor cantidad de beneficiarios posibles, por tanto, para satisfacer dicho requerimiento es preciso trabajar en sinergia con los sectores de producción. Dentro de éstos, se resalta el agropecuario el cual es fundamental para el progreso socioeconómico de una nación, puesto que, tal cual expone Pachón-Ariza (2013) el desarrollo rural y la soberanía alimentaria comparten objetivos similares al propender por mejorar la calidad de vida de los campesinos y habitantes rurales.

Para el caso específico de Colombia, dicha población (campesinos y habitantes rurales), ha enfrentado adversidades económicas e inestabilidades sociales, encontrando que en el país un 27.8% de la población vive en pobreza (DIRECCIÓN De DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE, 2015), aportando solamente un 6.7% al PIB (REVISTA DINERO, 2019) a pesar de ser un país con alta tradición agropecuaria. Teniendo en cuenta lo anterior, el gobierno nacional ha proyectado fortalecer la economía, fomentando la igualdad y manteniendo un carácter ambientalmente responsable: Ordenamiento y desarrollo territorial; Cierre de brechas sociales con enfoque de derechos; Inclusión productiva; Desarrollo de una ruralidad competitiva con énfasis en el sector agropecuario; Elementos de sostenibilidad ambiental para el desarrollo rural; y Reforma institucional profunda. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2015).

En concordancia con lo anterior, para generar el crecimiento y bienestar en el país es necesario establecer políticas dinámicas que recuperen sus producciones industriales y agropecuarias en un corto y mediano plazo, antes de que súbitos cambios de precios externos induzcan delicadas crisis económicas y sociales.(TORRES GONZALEZ, 2014), lo cual es acorde a lo expuesto por Toth (2016), quien indica que los sistemas de alimentos son vulnerables a cambios políticos, desastres naturales y crisis económicas.

De manera general, el panorama de pobreza, bienestar y seguridad alimentaria puede y debe ser estudiado a un nivel más detallado teniendo en cuenta la heterogeneidad propia de cada país. Para el caso de Colombia -y durante la presente investigación-, se realizaron estudios en el departamento de Santander debido a sus características económicas encontrándose como cuarto departamento que más aporta al Producto Interno Bruto (PIB) nacional (GOBERNACIÓN DE SANTANDER, 2016), presentando alta variabilidad topográfica que se traduce en la presencia de diversos climas (desde cálidas zonas de inundación a la ribera del río hasta páramos), terrenos quebrados acompañados de balcones, mesetas y abanicos aluviales en conjunto con el impactante cañón del Chicamocha.

Si bien el departamento se caracteriza por la diversidad de sus productos (debido a las características climáticas y topográficas anteriormente descritas), la producción primaria de la región sólo abastece aproximadamente el 50% de la población (SECRETARÍA DE PLANEACIÓN GOBERNACIÓN DE SANTANDER, 2011), indicando que en Santander existe una potencial insuficiencia alimentaria. Suceso contradictorio a lo esperado, teniendo en cuenta que, cuenta con la capacidad productiva de un millón de hectáreas con vocación agrícola, con reconocidos productores frutícolas, cacaoteros, cítricos entre otros; a la par de ser el principal productor avícola de la nación con una cuota de mercado del 25% (GOBERNACIÓN De SANTANDER, 2016).

La insuficiencia agroalimentaria persiste en diversos municipios tal cual expone Talero (2016) a partir del informe de la secretaría de planeación de la Gobernación de Santander (2011)., como son el Área Metropolitana de Bucaramanga AMB -comprendida por Bucaramanga, Girón, y Floridablanca-, y municipios cercanos a aquellos con función subregional. Lo anterior sumado a que el 70% de la población del departamento vive en las áreas rurales, el 95.4% de los municipios en el territorio tienen como base de su economía el sector agropecuario (SECRETARÍA DE PLANEACIÓN GOBERNACIÓN De SANTANDER, 2011), las Unidades Productoras Agropecuarias (UPA) en un 85.4% corresponden a minifundios o pequeños productores (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, 2014), y que la actividad agropecuaria se ha visto afectada en los últimos años, evidenciando un decrecimiento en los ingresos procedentes de actividades rurales, pasando del 61% al 54% en el periodo comprendido entre 2010-2014 (DIRECCIÓN DE DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE, 2015) hace necesario el trabajo en conjunto de la academia, industria y estado en dicho sector mediante dos frentes.

El primero, mejorando la metodología de producción agrícola en regiones aisladas del Área Metropolitana de Bucaramanga, buscando con ello aumentar la soberanía alimentaria y disminuyendo los riesgos presentes en la cadena de producción agrícola, sobre todo al tener en cuenta la deficiente infraestructura de los municipios alejados del AMB y las veredas distantes de las cabeceras municipales. El segundo es aumentando la soberanía alimentaria en el AMB a partir de la diversificación de la producción en su cercanía puesto que, como plantea Gasperi: soportar la agricultura periférica a las ciudades se ha vuelto un problema de planeación urbana y seguridad alimentaria, puesto que es necesario garantizar una infraestructura adecuada, acceso al trabajo y disminución de costos (GASPERI et al., 2016) y es mediante la cercanía a la cabecera municipal y sus clientes finales que se disminuyen riesgos en la cadena productiva, aumentando la resiliencia alimentaria.

3. Metodología

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar una metodología para la programación de la producción agrícola a pequeña escala, -teniendo en cuenta que un 85.4% de las unidades de producción agrícola en Santander corresponden a minifundios-, bajo el concepto de resiliencia alimentaria; buscando así aumentar la soberanía alimentaria a la par de disminuir el riesgo de inversión mediante la selección de productos con mayor estabilidad en sus precios. De manera general, la metodología se puede condensar en tres grandes etapas:

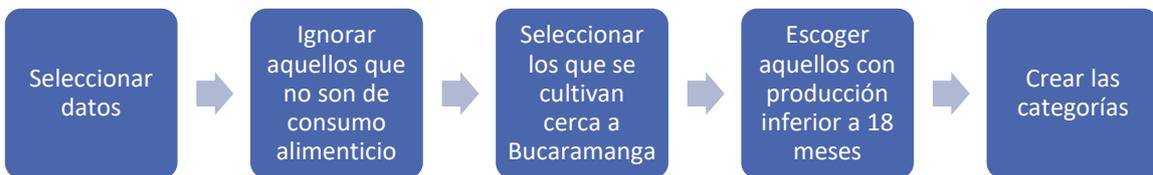
- Selección de productos.
- Construcción del mix de producción.
- Estimación del retorno.

3.1. Selección de los productos

La selección de los productos parte de la base de datos de precios de productos agrícolas comercializados en Bucaramanga, Santander (capital del departamento) para el periodo comprendido entre 2012/06/16 y 2016/12/30 publicada por Talero y otros (2017), luego, del *Dataset* se seleccionaron aquellos productos que se cultivan en la cercanía del Área metropolitana de Bucaramanga a partir de contrastar la información con documentos publicados por la Secretaría de Agricultura de Santander, generando así una base de información de 25 productos agrupados en tres categorías: 1) verduras, hortalizas y leguminosas, 2) frutas, y 3) tubérculos.

Es pertinente resaltar que para la selección de los productos se descartaron en aquellos con duración superior a 18 meses, y especialmente para el caso de las frutas los cultivos permanentes, con el fin de modelar la programación de la producción agrícola como un ejercicio de inversión con un horizonte no muy amplio. Además, teniendo en cuenta que el proyecto busca cubrir requerimientos nutricionales para mejorar la soberanía y resiliencia alimentaria, se descartaron aquellos productos con fin industrial como variedades de Palma usadas para la industria de biocombustibles. Un resumen gráfico del proceso de depuración se puede apreciar en la Figura 1.

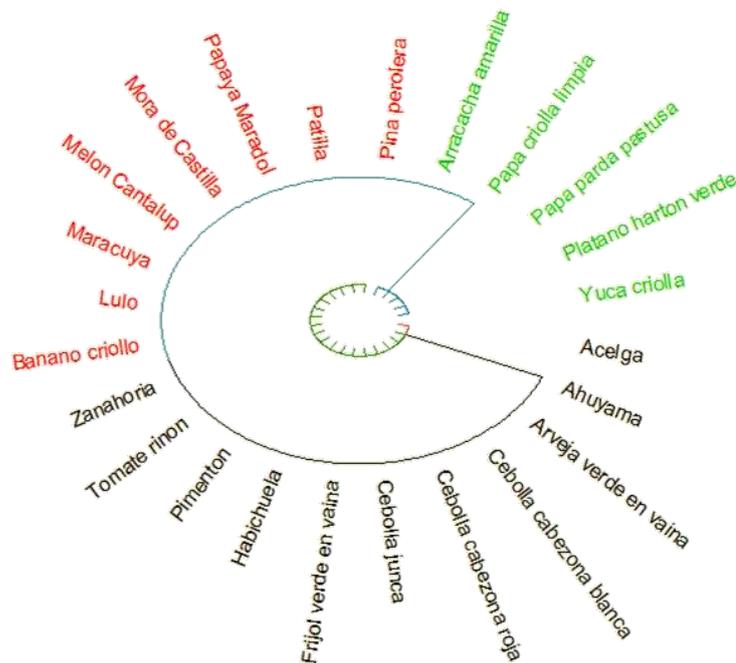
Figura 1 Depuración del Dataset



Los 25 productos escogidos para el presente trabajo y su respectiva categoría se consignan en la

Figura 2. Donde el color indica el grupo al que pertenece cada producto.

Figura 2 Productos utilizados durante las simulaciones



3.2. Construcción del mix de producción

Con el fin de evaluar múltiples escenarios y bajo el supuesto de no cultivar todos los productos posibles; se construyó un mix de producción a partir de la selección aleatoria de productos pertenecientes a cada categoría, buscando previamente que éstos tuvieran el menor riesgo. Para ello se calcularon los valores medios de sus rentabilidades y la desviación estándar de las mismas, eliminando del *Dataset* aquellos productos con tendencia a la baja en sus precios.

Una vez determinado los posibles productos a cultivar en el mix, se propuso una medida de riesgo a partir de la relación entre la desviación estándar de sus rentabilidades, dividida por la media de las mismas:

$$R_i = \frac{\sigma_i}{x_i}$$

Donde R_i indica el riesgo perteneciente al comportamiento del precio de cada producto agrícola, σ_i la desviación estándar de las rentabilidades de cada producto i y x_i el valor promedio de las rentabilidades respectivas. A partir de la medida individual se determinó el peso porcentual de riesgo de cada producto en el mix:

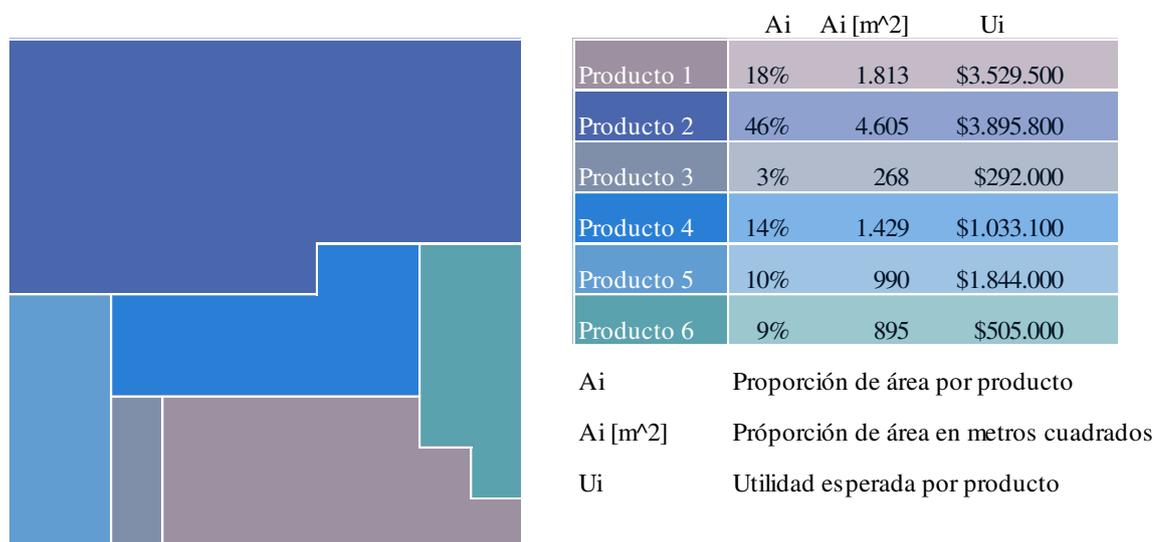
$$P_i = \frac{R_i}{\sum_{j=1}^n R_j}$$

De tal manera que, el área a cultivar es inversamente proporcional al peso porcentual de riesgo P_i , es decir, a mayor variabilidad ajustada en sus retornos, menor el área sembrada de dicho producto.

$$A_i \propto \frac{1}{P_i}$$

El mix por tanto constituiría la sumatoria de n productos que ocupan A_i espacios en un área conjunta máxima de una hectárea (10.000 m²), con un riesgo individual R_i y una utilidad esperada individual de U_i . Una representación gráfica el comportamiento esperado de la metodología se consigna en la Figura 5, donde se desarrolla el ejercicio con seis tipos de productos ($n = 6$), dos de cada tipo. En la figura se indica el porcentaje de área estimado ocupado por cada producto, su valor en metros cuadrados y el valor de utilidad esperada individual en pesos colombianos (COP).

Figura 3 Representación gráfica de la planificación de la producción por unidad de área



3.1. Estimación del retorno

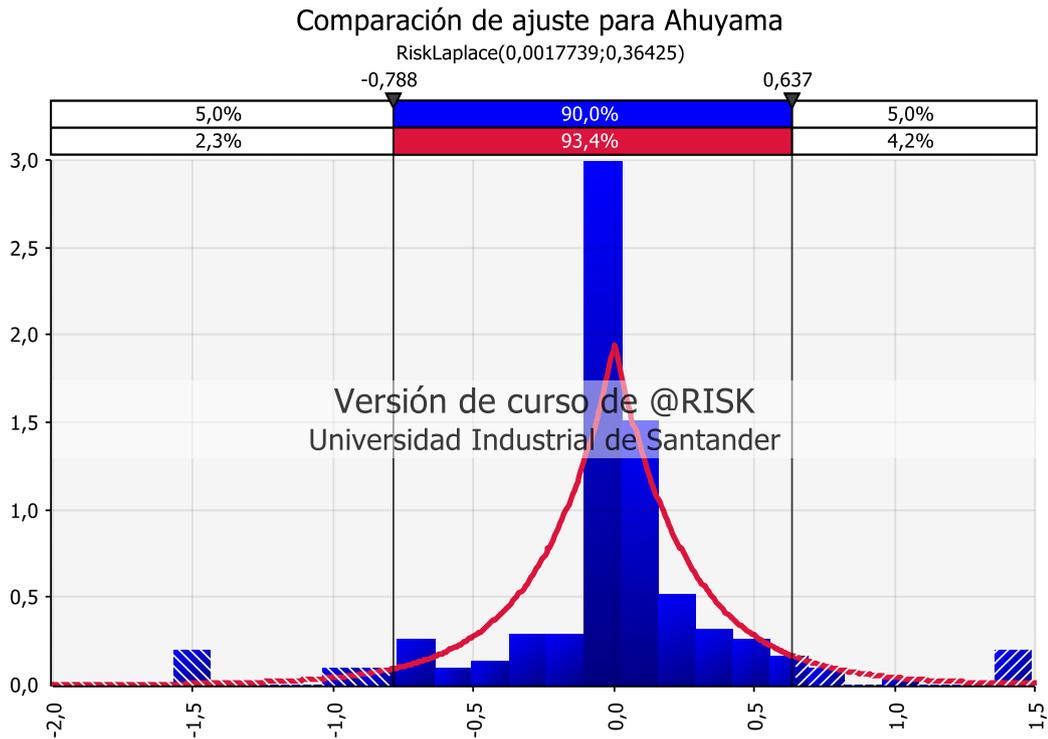
A partir de los datos históricos de los precios se identifican mediante el software @Risk de la suite Pallisade, el comportamiento probabilístico de las rentabilidades de cada producto agrícola (Ver

Figura 4). Una vez seleccionados los productos que conformarán el mix de producción, se generan sus precios a partir el último valor histórico registrado para cada uno de ellos y en cada iteración cambian según la función de probabilidad de su rentabilidad. El precio final de cada serie es multiplicado por un factor de utilidad, éste representa el margen de ganancia esperado y es estimado a partir del reporte de costos de producción agrícola generado por FEDESARROLLO (2012).

El retorno final esperado, corresponde a la sumatoria de todas las ganancias estimadas a partir del precio final del producto, multiplicado por el coeficiente de utilidad, dicha ganancia esperada es multiplicada por la cantidad promedio de kilos producidos por unidad de área, y éste a su vez por el número de veces que se cultivaría dicho producto.

$$Retorno = \sum_{i=1}^n A_i * \%U_i * k_i * m_i$$

Figura 4 Ejemplo del comportamiento probabilístico de los precios de un producto agrícola



Donde $\%U_i$ representa el margen de ganancia por kilo del producto, k_i la cantidad de producción en kilos por área, y m_i la cantidad de veces que el cultivo i es producido en la misma área durante el horizonte de planeación.

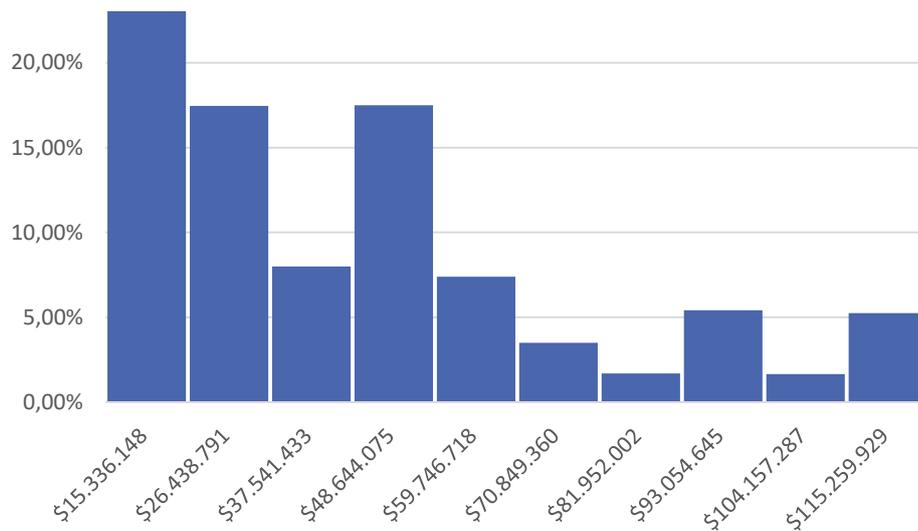
4. Resultados

La metodología fue programada en MATLAB 2015, y se realizaron 100.000 de réplicas; para cada una se seleccionó un total de nueve productos al azar, escogiendo tres de cada categoría. El máximo número de meses que comprendía el horizonte de planeación fue de catorce y corresponde al producto de la Piña Perolera; en contraste, el producto que más rotación tuvo fue la Acelga con siete producciones por periodo.

Las ganancias esperadas son consignadas en la Figura 5, indicando que, debido al enfoque de bajo riesgo lo más probable es encontrar utilidades bajas, presentando valores hasta los \$26.438.791 COP en sus dos primeras clases, o lo equivalente a 34 salarios mínimos mensuales

vigentes, que en promedio representan 2.4 salarios mínimos mensuales. Además, dependiendo de la configuración del mix, es posible encontrar valores que cuadruplican los valores más esperados.

Figura 5 Histograma de utilidades estimadas para la metodología propuesta



5. Discusión

El presente trabajo propone una metodología para la toma de decisiones de planeación y programación de la producción agrícola, para ello, diversas características y supuestos han sido necesarios con el fin de establecer un marco de trabajo más sencillo bajo el principio metodológico de parsimonia o navaja de Ockham. Entre los supuestos para estimar la utilidad o ganancia esperada no se consideraron aquellos productos sustitutos que pueden suplir los requerimientos alimentarios y por tanto, diversificar el mix de producción a partir de la rotación de productos con corto horizonte temporal de cosecha, tampoco aquellos productos que a pesar de tener una media en sus rentabilidades negativas, se cultivan por ser tradicionalmente más rentables (debido al riesgo de la inversión).

Además, durante la formulación del marco de trabajo, se supuso que todos los productos agrícolas se mantenían en el horizonte del proyecto sin adversidad alguna, es decir, no se contemplaron catástrofes, fuertes cambios climáticos, cambios de orden público y afines, ahora

bien, dicho supuesto es pertinente teniendo en cuenta que el objetivo principal de la metodología es producir con diversidad una canasta que supla los requerimientos alimenticios de las familias campesinas, disminuyendo así el flujo de dinero mediante la adquisición de productos en abarroterías.

Es necesario para futuras investigaciones considerar elementos como el cambio climático, riesgos por contaminaciones cruzadas entre productos, uso y desgaste del suelo e impacto ambiental, con el fin de mejorar no sólo en grado de resiliencia de la producción agrícola, sino la huella de carbón derivada del sistema productivo.

6. Conclusiones

La investigación de operaciones y gestión de procesos, son dos ramas de gran importancia para la ingeniería industrial y, por ende, los sectores productivos de la sociedad; sin embargo, los modelos y objetivos de los mismos han cambiado, haciendo necesario que la investigación aplicada contemple no solamente la optimización tradicional basada en costos/beneficios, sino variables más complejas de medir como el impacto de la huella de carbono, beneficiarios potenciales o, como en este caso, la resiliencia alimentaria.

Para ello es necesario partir de aproximaciones cualitativas al problema y, mediante técnicas de programación, optimización, simulación y demás, generar escenarios que faciliten la toma de decisiones. A partir de la presente propuesta, se desarrolla una metodología fácilmente replicable sin mayor complejidad computacional, que toma como objetivo principal la resiliencia alimentaria, además de propender por la mejora en calidad de vida de los cultivadores mediante un marco de trabajo de bajo riesgo.

7. Bibliografía

ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES. **Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**. 2015.

BARTHEL; Stephan y ISENDAHL; Christian. **Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities**. 2013. *Ecological Economics*, 86, 224-234. doi:10.1016/j.ecolecon.2012.06.018

CHRISTOPHERSON; S., MICHIE; J., y TYLER; P. **Regional resilience: theoretical and empirical perspectives**. 2010. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3(1), 3-10. doi:10.1093/curres/rsq004

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. **Censo Nacional Agropecuario, Décimo segunda entrega de resultados 2014**. 2014. (Mauricio Perfetti del Corral & Carlos Felipe Prada Lombo, Eds.) (1.a ed.). Bogotá.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. **Misión para la transformación del campo Colombiano**. 2015. 15 de Enero de 2016 11:54 am. Recuperado el 25 de abril de 2016 de: <https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/Paginas/mision-para-la-transformacion-del-campo-colombiano.aspx>

DIRECCIÓN DE DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE. **Diagnóstico de la pobreza rural. Colombia 2010-2014**. 2015. Bogotá.

FEDESARROLLO. **Costos de Producción de Doce Productos Agropecuarios**. 2012 (1.a ed.). Bogotá.

GASPERI; D., PENNISI; G. , RIZZATI; N. , MAGREFI;F. , BAZZOCCHI; G., MEZZACAPO; U. , ... GIANQUINTO; G.. **Towards regenerated and productive vacant areas through urban horticulture: Lessons from Bologna, Italy**. 2016. Sustainability (Switzerland), 8(12). Doi:10.3390/su8121347

GOBERNACIÓN DE SANTANDER. **Plan de desarrollo departamental**. 2016.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. **Objetivos de desarrollo sostenible** | UNDP. 2016. Recuperado el 1 de enero de 2017 de: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

PACHÓN-ARIZA; Fabio Alberto. **Food sovereignty and rural development : beyond food security Soberanía alimentaria y desarrollo rural : más allá de la seguridad alimentaria**. 2013, 31(3), 362-377.

REVISTA DINERO. **¿Cómo está compuesta la economía colombiana?** 2019. Recuperado el 1 de febrero de 2017 de: <http://www.dinero.com/economia/articulo/composicion-economia-colombiana-2015/214054>

SECRETARÍA DE PLANEACIÓN GOBERNACIÓN DE SANTANDER. **Santander 2030 Síntesis del diagnóstico territorial de Santander**. 2011. Bucaramanga.

TALERO Sarmiento; Leonardo Hernán, ESCOBAR Rodríguez; Laura Yeraldin, y GARAVITO Hernandez; Edwin Alberto. **Prices of agricultural products in Santander Colombia between 2012/06/16 and 2016/12/30**. 2017. Bucaramanga. Doi:10.17632/c3x8prwxmx.1

TALERO Sarmiento; Leonardo Hernán, RODRÍGUEZ Torres; Leidy Tatiana, y DÍAZ Bohórquez; Carlos Eduardo. **Definición y caracterización de los principales productos agrícolas cultivados en las provincias de García Rovira y Guanentá; como base para la propuesta de Primera Milla**. 2016. Bucaramanga.

TORRES González; Jaime. **Colombia: Logros en dos décadas de modelo de desarrollo aperturista - análisis según resultados de balanza comercial**. 2014. Análisis político, 82(3), 212-235.

Toth; Attila, RENDALL; Stacy, y REITSMA; Femke. **Resilient food systems: a qualitative tool for measuring food resilience**. 2016. Urban Ecosystems, 19(1), 19-43. Doi:10.1007/s11252-015-0489-x