

Una teoría acerca del ADN de la firma

A theory about the agricultural firms DNA

COLCIENCIAS TIPO 2. ARTÍCULO DE REFLEXIÓN

RECIBIDO: MARZO 1, 2013; ACEPTADO: JUNIO 1, 2013

Ronald Garcia-Negrette (†)
rjgarcia@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Colombia

Resumen

El artículo presenta una aproximación al análisis de la competitividad de las empresas del sector agrícola, a partir de la adecuación de conceptos propios de la biología. Presenta algunas definiciones centrales y reflexiona sobre ellas para proponer las propias sobre el fenotipo de la firma y la manera en que sobre él actúan el genotipo y el medio ambiente. Propone un modelo de análisis de la competitividad de las empresas del sector agropecuario basado en la interacción de ocho subsistemas. Describe cada uno de ellos, presenta esquemas de causalidad y una formulación matemática.

Palabras Clave

Competitividad; empresas agrícolas; análisis de competitividad; fenotipo de la firma; genotipo de la firma

Abstract

This paper presents a "biological" approach for analysis of the competitiveness of companies in the agricultural sector. Presents some central biological concepts and reflect on them to propose definitions about the phenotype of the firm and how it is influenced by its genotype and the environment. It proposes a model for analyzing the competitiveness based on eight subsystems interaction. Describe each of them, presents causal diagrams and mathematical formulation.

Keywords

Competitiveness; agricultural companies; competitive analysis; enterprise's phenotype; enterprise's genotype.

I. LA COMPETITIVIDAD DE LA EMPRESA AGRÍCOLA VISTA DESDE LA BIOLOGÍA DE LOS MARCADORES MOLECULARES

Utilizar procesos biológicos como referente para la formulación de teorías y esquemas de análisis en otras esferas del conocimiento no es algo nuevo; un ejemplo de ello son las redes neuronales, cuya teoría y modelado están inspiradas en la estructura y funcionamiento del sistema nervioso, en el cual la neurona es el elemento fundamental.

Alan Turing, en 1936, fue el primero en estudiar el cerebro como una forma de ver el mundo de la computación, pero quienes primero concibieron algunos fundamentos de la computación neuronal fueron Warren McCulloch y Walter Pitts, después otras teorías iniciales fueron expuestas por Donald Hebb. Pero solo hasta 1957 Frank Rosenblatt comenzó el desarrollo del Perceptrón, la red neuronal más antigua (Daza, 2002, p.22).

En el campo de la economía su uso ha sido amplio; se destaca, en el caso colombiano, el trabajo de Misas, López, y Querubín (2002) en el análisis del comportamiento de la inflación.

En este trabajo se busca formular un marco teórico formal para identificar los elementos constitutivos de la competitividad de la empresa agrícola, a la luz de la teoría del ADN y los marcadores genéticos, para lo cual, se exponen los fundamentos biológicos sobre los cuales se referencia y fundamenta dicha teoría y los elementos que permiten su construcción, realizando la comparación con los referentes biológicos, lo que arroja como producto principal el *mapa genético de la empresa agrícola*, planteando una aproximación matemática de un modelo de medición de los marcadores de competitividad y de como ellos afectan su fenotipo (i.e., las características visibles de sus agentes económicos).

A. Anotaciones preliminares de tipo biológico

La búsqueda de un enfoque biológico desde el ADN, implica establecer los conceptos de tipo biológico:

El fenotipo constituye los rasgos observables de un individuo, tales como la altura, el color de ojos, y el grupo sanguíneo. La contribución genética al fenotipo se llama genotipo. Algunos rasgos son determinados en gran medida por el genotipo, mientras que otros rasgos están determinados en gran medida por factores ambientales. Un genotipo es la colección de genes de un individuo. El término también puede referirse a los dos alelos heredados de un gen en particular. El

genotipo se expresa cuando la información codificada en el ADN de los genes se utiliza para fabricar proteínas y moléculas de ARN. La expresión del genotipo contribuye a los rasgos observables del individuo, lo que se denomina el fenotipo (NHGRI, s.f).

El *genotipo* habla de la identidad genética de un individuo, identidad que está contenida en sus células, las cuales se componen, en el caso humano, de 23 pares de *cromosomas* —que a su vez contienen *genes*—. Para saber en qué lugar se ubican dichos *genes*, se establece su *locus*. A su vez, un *gen* puede variar y esas variaciones dan origen a los *alelos*, cuya presencia por *locus* permite establecer los niveles de *polimorfismo* presentes en una población de individuos y establecer los niveles de similitud genética entre ellos¹. La detección del *polimorfismo* generado por los *alelos* en un *locus* determinado, requiere la aplicación de técnicas de biología molecular, como es la de los marcadores moleculares.

1) Marcadores moleculares

Un marcador o marcador genético es un segmento de ADN con una ubicación física identificable en un cromosoma, cuya herencia se puede rastrear en una familia. Un marcador puede ser un gen o puede ser un fragmento de ADN sin función conocida. Los marcadores se usan a menudo como una forma indirecta de rastrear el patrón hereditario de un gen que no ha sido identificado todavía y cuya ubicación aproximada se desconoce. Los marcadores se usan para el mapeo genético como el primer paso para encontrar la posición e identidad de un gen.

La popularidad de esta técnica reside en la mayor objetividad de los procesos de caracterización biológica, los cuales, hasta hace pocos años, descansaban en las características morfológicas. *La taxonomía siempre ha estudiado las características morfológicas, lo cual requiere observaciones muy exhaustivas de los organismos en diferentes estadios de desarrollo y provoca que los criterios utilizados carezcan muy a menudo de definición y objetividad (Claros, 1998).*

Con la adopción de los marcadores moleculares [MAS], un número significativo de científicos ha abandonado la técnica morfológica de caracterización de poblaciones aunque en la comunidad científica se acepta cada vez más que, *existen razones para creer que el sinergismo entre el mejoramiento empírico y la selección asistida por marcadores realmente producirá un efecto mayor que la suma de acciones*

¹ Para una definición de cada uno de estos conceptos se recomienda revisar NHGRI (s.f)

individuales (Stuber, Polacco, & Senior, 1999, p.1573). En ese orden de ideas es válido anotar cuáles son las aplicaciones de los MAS:

...i). *investigar y entender las bases fisiológicas y genéticas de la heterosis y la predicción del rendimiento de los híbridos*, ii). *identificación de factores genéticos útiles en poblaciones o líneas divergentes*, iii) *la introgresión de factores genéticos deseados en líneas y poblaciones de mejoramiento*, iv) *potenciar los programas de selección recurrentes, que se basan en las respuestas fenotípicas*, v) *entender las interacciones genotipo ambiente*, vi) *monitoreo de la diversidad en los pools genéticos*, y vii) *identificación de cultivares y germoplasma* (Stuber et al., 1999; Medina, Yanes, & Zaffaroni, 2001).

Así como existen aplicaciones, es válido también referenciar sus limitaciones. Antes de hacerlo es necesario aclarar que los MAS, en términos de resultados, permiten analizar la *Características cuantitativas Loci* [QTL]. En ese sentido, la limitante de los MAS se concentra en su relación con las QTL:

- *Disponibilidad de marcadores polimórficos*. Esto está dado principalmente porque el germoplasma usado por los mejoradores está cercanamente relacionado, de forma que dos genotipos que difieran para una característica, puede presentar marcadores monomórficos.
- *Falta de precisión en el mapeo de loci*. Esto puede derivar en eventos de recombinación entre los marcadores y los QTL que no sean detectados.
- *Extrapolación de marcadores de una población a otra*. Los marcadores asociados a un QTL en una población no necesariamente se encuentran asociados al mismo QTL en otra población, de tal manera que dichos marcadores no son útiles para selección.
- *Presencia de interacción genotipo ambiente [IGA]*. Existen reportes sobre la existencia de interacción QTL-Ambiente; esto hace que estas asociaciones no sean estables a través de los ambientes, lo que hace que la capacidad predictiva del marcador sea efímera.
- *La asociación indicada entre marcadores y QTLs en las poblaciones de mapeo pueden desaparecer en las poblaciones de validación*. Esto resalta la importancia de la validación fenotípica al momento de realizar MAS.
- *Existencia de efectos pleotrópicos indeseados*. La existencia de dichos efectos, dados por el marcador o el QTL, puede derivar en una línea de mejoramiento sin valor comercial.
- *Costos asociados a la implementación de marcadores*.

- *Necesidad de personal capacitado* (Medina et al, 2001).

Entre estos limitantes hay que destacar la presencia de la Interacción Genotipo Ambiente [IGA], que muestra como el medio ambiente que determina la conformación del fenotipo, actúa sobre el genotipo, lo que permite en el largo plazo hablar de mutaciones². Esta limitante como se verá, es de gran importancia para la construcción de la teoría que se busca formular para las empresas agrícolas.

2) Técnicas y metodologías para el uso de los MAS

Las técnicas más utilizadas por los biólogos, de acuerdo con NHGRI (s.f), son:

Polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción [RFLP]. Variaciones en las bases nitrogenadas en el sitio donde una enzima de restricción corta un segmento de ADN. Estas variaciones afectan el tamaño de los fragmentos que resultan del corte. Los RFLP se pueden utilizar como marcadores en la construcción de mapas físicos y de ligamiento.

Microsatélite. Pequeñas regiones de ADN que contienen múltiples copias de secuencias repetitivas cortas y que se emplean como marcadores genéticos para rastrear la herencia familiar o mapear enfermedades en el genoma.

La aplicación de técnicas de MAS es válida cuando se ha realizado una preselección fenotípica de los individuos a analizar, por sus características de interés económico. En este sentido el uso de la técnica mantiene su validez, pues, *los marcadores moleculares permiten conocer los niveles de variabilidad genética de la que se dispone en la población de mejora, permitiendo una flexibilidad y control de la reducción de la variabilidad existente* (Acuña, Torales, Marcó, Harrand, & Marcucci, 2003, p.1)

Las técnicas de medición estadística utilizadas para expresar de forma cuantitativa el uso de los MAS son:

Índice de similitud de Jaccard entre pares de genotipos. Definido como la suma de fragmentos de ADN de igual movilidad, dividida por el total de fragmentos del par de individuos.

Índice de Diversidad (ID) o heterocigosidad esperada. Que se define como:

$$H_e = \sum p_i^2 \quad (p_i = \text{frecuencia de cada alelo}).$$

2 Cambio o alteración en el ADN. Tradicionalmente se asocia con un evento negativo, aunque algunos que pueden ser benéficos. Las mutaciones pueden no tener ningún impacto sobre la función de un órgano o sistema o pueden en cambio causar problemas

El valor máximo que puede adquirir este índice es 0.5, para marcadores de tipo dominante (Acuña et al., 2003).

La técnica estadística a utilizar es el análisis de clúster en especial el de tipo jerárquico (Everitt, 1977) que permite la construcción de endogramas facilitando la identificación de individuos con baja similitud genética y buen desempeño en sus características económicas, lo que se considera como un buen performance del individuo.

B. Elementos para la formulación de marcadores de la firma

Partiendo de la definición biológica de fenotipo y de cómo sobre él actúan el genotipo y el medio ambiente, se puede definir el *fenotipo de la empresa agrícola*, como el conjunto de sus características (C_i) visibles (e.g., el volumen de ventas, los activos totales y el set de indicadores financieros), está determinado por el *genotipo de la empresa agrícola* (G_i) y por el *medio ambiente* (A_i), lo que lleva a plantear una relación funcional del tipo:

$$C_i = F(G_i, A_i) \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ empresas agrícolas}$$

Siguiendo el discurso biológico, al involucrar la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) como:

$$G_i = F(A_i)$$

Quedando el *fenotipo de la empresa agrícola* como una función compuesta.

$$C_i = F[G_i(A_i), A_i]$$

Lo que implica que la diferenciación de las características de las empresas agrícolas con respecto al medio ambiente se expresan como:

$$\partial C_i / \partial A_i = \partial C_i / \partial G_i \cdot \partial G_i / \partial A_i$$

En el corto plazo se puede asumir que A_i es una constante, pues en el ámbito económico las variaciones de las variables del entorno como medidas económicas Estatales, los entornos sectoriales, macroeconómicos, internacionales y sociales), terminan generando mutaciones permanentes, en especial en el *genotipo de la empresa*.

1) El genotipo de la empresa agrícola

A simple vista es posible establecer los componentes del *genotipo de la empresa agrícola* —en este caso, sus *cromosomas*—, sin embargo, ellos variarían en función de su nivel de complejidad, expresado en términos de su volumen de producción agrícola.

Los *cromosomas de la empresa agrícola* estarían a simple vista relacionados con los procesos y niveles de adopción tecnológica (T_i); es decir, las funciones tradicionales de producción y costos, y la de beneficio como combinación de las dos anteriores (Rosales, Apaza & Bonilla, 2004), son parte de este *cromosoma de la empresa agrícola*, en otras palabras son los *genes de la empresa*.

Pero, existe otro *cromosoma de la empresa agrícola* que es de alta complejidad por sus *genes* constitutivos y es el relacionado con el empresario agrícola (E_i). Su nivel de complejidad en términos de los *genes* que lo componen radica en el hecho de que involucra factores subjetivos de difícil medición, pero relevantes en la definición del *fenotipo de la empresa agrícola*, que es en últimas lo visible para los analistas de la competitividad en los diferentes niveles de medición de la misma (sectorial, regional, nacional). El comportamiento empresarial, en un intento de simplificar su alta complejidad, se puede sintetizar como su posición frente al riesgo, sea este generado por el resultado de nuevas inversiones en adopciones tecnológicas o por el medio ambiente.

En aras de simplificar metodológicamente la formulación matemática se puede asumir que el *genotipo de la empresa agrícola* está compuesto de dos *cromosomas*: la tecnología (T_i) y el empresario (E_i). Si se mantiene constante en el corto plazo el medio ambiente (A_i), se puede formular el genotipo de la empresa agrícola como:

$$G_i = F(T_i, E_i)$$

Con esta formulación se asume que el *genotipo de la empresa agrícola* se compone de dos cromosomas —uno con componentes tecnológicos, otro con los elementos que determinan la capacidad empresarial—, que interactúan entre sí y terminan definiendo un alto porcentaje de lo visible (fenotipo) de la empresa agrícola. Esto se manifiesta en la actitud del empresario para comprar e introducir nuevas tecnologías.

2) Genes, loci y alelos de la empresa agrícola

Definidos los *cromosomas de la empresa agrícola*, es necesario definir sus *genes*. En el cromosoma tecnológico (T_i) se pueden identificar, a simple vista, tres genes, aunque uno de ellos es la combinación de los otros dos: la función de producción agrícola, esto es, su actividad económica (Q_i); la función de sus costos totales (C_t); y la función de sus beneficios (π_i).

El cromosoma tecnológico (T_i) de la empresa agrícola queda definido en forma funcional como:

$$T_i = F(Q_i, Ct_i, \pi_i)$$

La definición de los genes del cromosoma empresarial (E_i) presenta un mayor nivel de complejidad, puesto que ellos son los determinantes de su comportamiento en la toma de decisiones, especialmente en situaciones de riesgo controlado. Se pueden plantear metodológicamente: edad (e_i); sexo (s_i); educación (Ed_i); experiencia (Ex_i); y tipo de empresa (Te_i).

El cromosoma empresarial (E_i) de la empresa agrícola queda definido como:

$$E_i = F(e_i, s_i, Ed_i, Ex_i, Te_i)$$

Los *Loci* (L_i) de los genes definidos se pueden establecer en tres lugares de su interior: en el cultivo, selección, cosecha y postcosecha (L1); en el área Administrativa (L2); y en el área de comercialización (L3).

A nivel de cromosomas y genes de la empresa agrícola los Loci tendrán incidencia diferencial en los de tipo tecnológico, es decir la ubicación de Q_i será principalmente en L1; la de Ct_i será en L1 pero también en L2 y L3, por los costos administrativos y de transacción que se generan más allá de la esfera de lo productivo; y la de π_i , por ser combinación de los dos anteriores, será en L1, L2 y L3.

Para los genes de comportamiento empresarial no se puede definir un locus particular –o un grupo de Loci para cada uno–. Estos genes terminarían afectando la eficiencia y eficacia empresarial en alguna de las tres aéreas definidas como los Loci de la empresa agrícola.

Los *alelos* de la empresa agrícola, que corresponden a la variabilidad de sus genes, se pueden detectar con mayor facilidad en los de tipo tecnológico. Estos *alelos* son: uso del capital (K_i); uso del trabajo (W_i); uso de la Infraestructura (I_i); y uso de las Tecnologías de información y las comunicaciones (TIC_i).

La heteroneidad de las empresas agrícolas radicarán en cómo se utilizan estos factores, que son los que le introducen variabilidad a los genes de tipo tecnológico. En los genes de comportamiento empresarial, los alelos se detectan como la desviación estándar (STD) de cada uno de ellos, lo que se puede escribir como: STD Edad (σe_i); STD Sexo (σs_i); STD Educación (σEd_i); STD Experiencia

(σEx_i); y STD Tipo de empresa (σTe_i).

C. *Un esbozo de la modelación del mapa genético de la empresa agrícola con los marcadores de competitividad*

Al realizar la identificación de los componentes del fenotipo, medio ambiente, genotipo, cromosomas, genes, loci y alelos de la empresa agrícola, se puede construir su mapa genético, definiéndolo en términos biológicos:

Un mapa genético... describe las posiciones de los marcadores genéticos a lo largo de una cadena de ADN. Los marcadores genéticos reflejan las secuencias de ADN que difieren entre los distintos individuos. Los marcadores... se conocen también como polimorfismos, que van desde diferencias en la secuencia que produce fenotipos identificables hasta diferencias más inocuas en la secuencia, que no tienen un efecto notorio en un individuo. Estas diferencias en la secuencia están esparcidas en nuestro ADN y sirven como base para construir mapas genéticos detallados del genoma. Estos mapas son importantes en estudios genéticos, por ejemplo para buscar genes asociados con una enfermedad o detectar variaciones entre individuos (NHGRI, s.f).

Una posible modelación del mapa genético de la firma, para su evaluación empírica, tendrá como base teórica los desarrollos sobre modelos de crecimiento endógeno (Destinobles, 2007), puesto que se asume que los desarrollos tecnológicos de la empresa agrícola son procesos endógenos de la misma y dinámicos en el tiempo.

Un punto de arranque para la modelación es mantener la coherencia con las metodologías de medición de los marcadores genéticos, por lo que el punto de partida es trabajar con los alelos de la firma estandarizados, que son los que permitirán tener una medición de la variabilidad de los genes de la firma en los dos cromosomas considerados. Utilizando la función de estandarización:

$$z = (x - \mu) / \sigma$$

Un alelo de la firma (x) se considerará una variable aleatoria, transformándose al restarle el valor medio del alelo (μ) de cada x y dividiendo por su desviación estándar σ cada desviación resultante $(x - \mu)$. El alelo estandarizado se denomina z . *La estandarización $z = (x - \mu) / \sigma$ transforma cualquier variable x en una nueva variable z , que tiene media cero y varianza uno (Harnett & Murphy, 1987, p.123).*

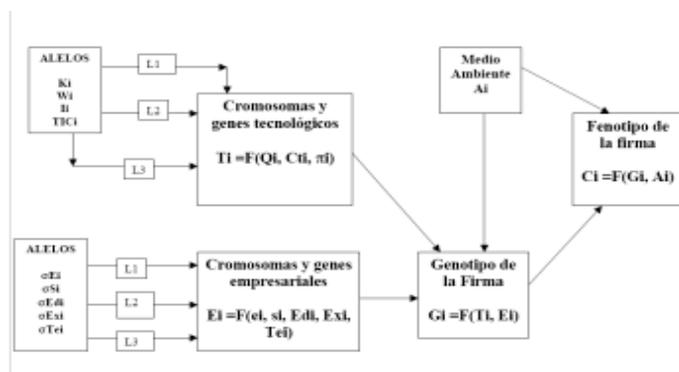
La naturaleza de los alelos, los genes y el fenotipo de la firma –en términos de las variables y su unidad de medida– permiten usar el análisis taxonómico *Método Wrocław* para la

estandarización (Harbinson, Maruhnic, & Resnick, 1970; Johnstone, 1976).

La técnica taxonómica consiste en reemplazar el valor medio de los alelos de la empresa agrícola, por un referente competitivo, como son los mejores indicadores a nivel de las empresas agrícolas, que corresponde al mejor valor en términos económicos del alelo de las empresas agrícolas de una región en la cual se está realizando la caracterización en términos de marcadores de competitividad.

En la Figura 1 se puede observar el mapa genético de la firma, en donde se encuentra que es la heteroneidad tecnológica y de la capacidad empresarial los que determinan el genotipo de la empresa (factores endógenos), el cual, con los elementos del ambiente (exógenos) determinarán el fenotipo (lo visible) de la empresa agrícola, el mismo que termina reflejándose en los balances y estados de resultados.

Figura 1. Mapa genético de la firma



II. LA COMPETITIVIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA A NIVEL SECTORIAL

El objetivo de esta sección es diseñar una propuesta metodológica de medición en términos económicos de la competitividad agrícola, tomando elementos que abarcan diferentes disciplinas, entre ellas la agronomía.

Para lograr este objetivo se recurre a un enfoque sistémico, que trabaja ocho subsistemas en los cuales se define parte de la competitividad puesto que como un todo no es inmutable. Se tiene como referente teórico la afirmación de Lange (1975, p.7):

...tales sistemas poseen atributos distintos a los elementos constituyentes, y tienen también sus propios modos de acción, los cuales no se derivan solamente de los de dichos elementos. Llamaremos "todos" a tales sistemas....Según la teoría del materialismo dialéctico, la existencia de tales "todos" está

relacionada con la naturaleza dialéctica de los procesos de desarrollo. En un sistema que constituye un "todo" aparecen contradicciones que impiden al sistema permanecer inmutable.

Con la propuesta de una competitividad no inmutable se busca instrumentalizar, posteriormente, a partir de una batería de indicadores y ecuaciones para cada subsistema, lo cual da elementos para estimar la demanda de información para cada uno y para el conjunto del *todo competitivo* o modelo propuesto.

Finalmente se termina con una reflexión sobre lo parcial que es la medición de la competitividad –más si se tiene en cuenta la premisa de la teoría de sistemas que indica que la suma de las partes no es igual al todo, es decir, la no inmutabilidad del *todo competitivo*, impide hablar de un modelo acabado para el mismo.

A. Determinantes de la competitividad agrícola

Los determinantes de la competitividad agrícola se encuentran en diferentes ámbitos y niveles; esto implica que es necesario definirlos, definir sus componentes y la manera como se interrelacionan entre ellos; es decir, en un enfoque sistémico, definir claramente los subsistemas, para su posterior interrelación. La propuesta, para su análisis, consiste en descomponerlos en los siguientes subsistemas: edafoclimático (E); tecnológico (T); geográfico (G); agroalimentario (S); ambiental (A); de mercado (M); de infraestructura (I); y financiero (F). Estos subsistemas que contienen los determinantes de la competitividad agrícola, permiten formular una función de producción tipo Cobb-Douglas (Rosales, Apaza & Bonilla, 2004), que sería el sistema que integra los subsistemas formulados. Esto se puede expresar matemáticamente como:

$$CF = \Delta E^\alpha T^\beta G^\gamma S^\delta A^\epsilon M^\theta I^\lambda F^\sigma$$

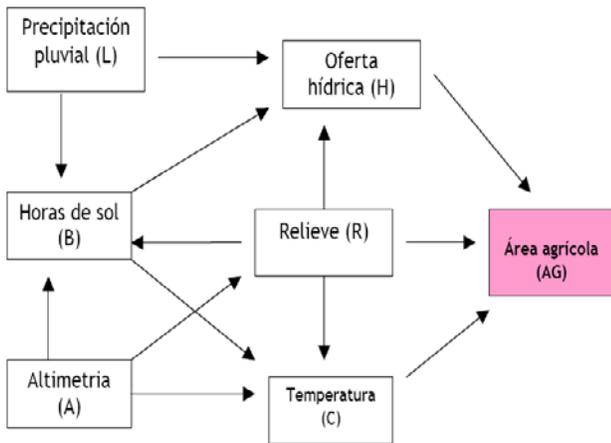
Donde el comportamiento de la competitividad agrícola tendría las siguientes respuestas ante cambios en los diferentes subsistemas:

CF	Competitividad agrícola	CF>0
E	Condiciones de clima y suelo para la agricultura	E>0
T	Oferta y adopción tecnológica en la agricultura	T>0
G	Ocupación en el tiempo del espacio geográfico x la agricultura	G>0
S	Nivel de seguridad alimentaria garantizada por la agricultura	S>0
A	Oferta ambiental para la actividad agrícola	A>0
M	Posibilidades de mercado de la producción agrícola	M>0
I	Oferta de infraestructura pública para la producción agrícola	I>0
F	Nivel de beneficios financieros generados por la agricultura	F>0
Δ	Productividad total factorial de E, T, G, S, A, M, I, F.	
σ, λ, θ, ε, δ, γ, β, α	Parámetros técnicos de cada subsistema y su efecto sobre CF	σ, λ, θ, ε, δ, γ, β, α > 0

1) Subsistema edafoclimático (E)

En este subsistema interaccionan las variables: Área agrícola (AG), precipitación pluvial (L), horas de sol (B), oferta hídrica (H), altimetría (A), relieve (R) y temperatura (C). Su sistema de causalidades se ilustra en la Figura 2.

Figura 2. Causalidades - Subsistema Edafoclimático (E)



El sistema de ecuaciones lineales que se define es:

$$\begin{aligned} AG &= a_1 + b_1H + c_1R + d_1C \\ H &= a_2 + b_2L + c_2B + d_2R \\ C &= a_4 + b_4R + c_4B + d_4A \\ B &= a_5 + b_5L + c_5A \\ R &= a_3 + b_3A \end{aligned}$$

Las variables exógenas del subsistema son Altimetría (A) y Precipitación pluvial (L), puesto que definen gran parte del comportamiento del conjunto de determinantes que compone este subsistema; la variable de salida es el Área agrícola sembrada del cultivo i a analizar (AG_i).

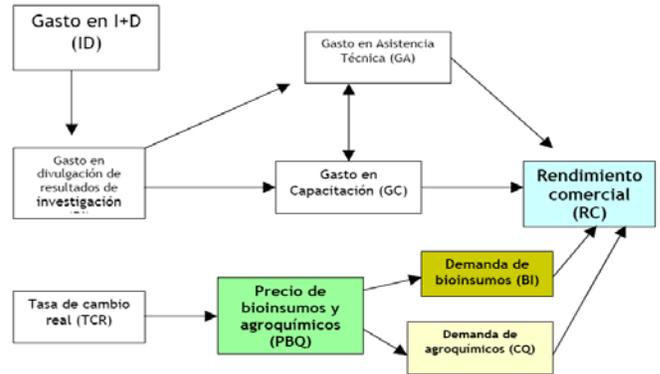
2) Subsistema tecnológico (T)

En él interaccionan las variables: Rendimiento comercial (RC), Gasto en asistencia técnica (GA), Gasto en capacitación (GC), Gasto en divulgación de resultados de investigación (RI), Gasto en investigación y desarrollo (ID), Precio de los bioinsumos y agroquímicos (PBQ), Demanda de bioinsumos (BI), Demanda de agroquímicos (CQ) y Tasa de cambio real (TCR). Este subsistema presenta dos rutas de causalidades. Una de ellas nace en el gasto en I+D, la otra, en la tasa de cambio real, lo que genera el sistema de causalidades de la Figura 3.

Este subsistema se destaca por tener tres variables que forman parte de otros subsistemas. El sistema de ecuaciones lineales que se propone es:

$$\begin{aligned} RC &= a_1 + b_1GA + c_1GC + d_1PI + e_1BI + f_1CQ \\ GA &= a_2 + b_2RI + c_2GC \\ GC &= a_3 + b_3GA + c_3RI \\ RI &= a_4 + b_4ID \\ PBQ &= a_5 + b_5TCR \\ BI &= a_6 + b_6PBQ \\ CQ &= a_7 + b_7PBQ \end{aligned}$$

Figura 3. Causalidades - Subsistema tecnológico (T)



Las variables exógenas del subsistema son el Gasto en I+D (ID) y la Tasa de cambio real (TCR), las cuales confluyen en el Rendimiento comercial como variable de salida del cultivo bajo análisis. El rendimiento comercial, como variable de salida, se conceptualiza como el que obtienen los agricultores de corte empresarial, quienes registran una continua tendencia a adoptar parcialmente resultados tecnológicos; difiere del rendimiento promedio de un municipio o departamento, porque presenta un alto nivel de heterogeneidad de la adopción tecnológica a nivel micro y la varianza de dicho promedio lleva a coeficientes de variación superiores a 100%.

3) Subsistema geográfico (G)

En él interaccionan las variables: Área cosechada (AC), Área en cultivos semipermanentes (FS), Área en cultivos perennes (FP), Área en cultivos transitorios (FT), Área agrícola (AG), Frontera agropecuaria (FA) y Área del departamento (AD). Su sistema de causalidades se presenta en la Figura 4:

El sistema de ecuaciones lineales que se genera contiene una de las variables de salida de otro subsistema, como es Área agrícola (AG), el sistema queda así:

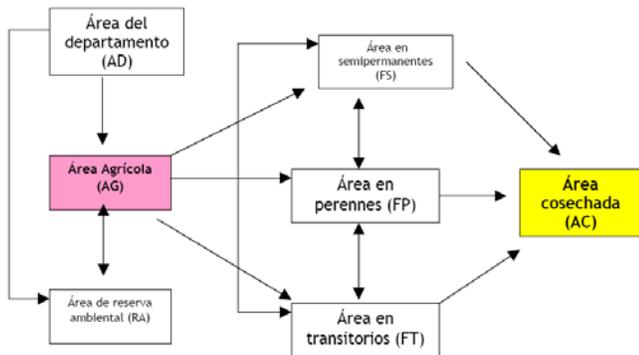
$$\begin{aligned} AC &= a_1 + b_1FS + c_1FP + d_1FT \\ FS &= a_2 + b_2FP + c_2FT + d_2AG \\ FP &= a_3 + b_3FS + c_3FT + d_3AG \\ FT &= a_4 + b_4FS + c_4FP + \end{aligned}$$

$$d_4AG$$

$$AG = a_5 + b_5AD + c_5RA$$

$$RA = a_6 + b_6AD$$

Figura 4. Causalidades - Subsistema geográfico (G)

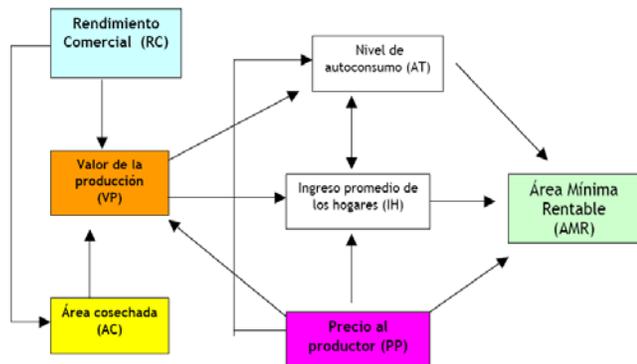


La variable exógena del subsistema es Área del departamento (AD), puesto que esta es la restricción física de la oferta de suelos para la actividad agrícola, la cual genera conflictos de suelo al confrontar el uso actual con el uso potencial, en términos de la vocación de uso. Esto permite establecer la variable de salida como el Área cosechada (AC) en un periodo de tiempo del cultivo a analizar.

4) Subsistema agroalimentario (S)

En este subsistema interaccionan las variables: Área mínima rentable (AMR), Consumo de calorías y proteínas (CP), Nivel de autoconsumo (AT), Ingreso promedio de los hogares (IH), Precio al productor (PP), Valor de la producción (VP), Área cosechada (AC) y Rendimiento comercial (RC). En este subsistema se presenta el sistema de causalidades de la Figura 5.

Figura 5. Causalidades - Subsistema agroalimentario (S)



Este subsistema tiene a su interior cuatro variables que forman parte de otros subsistemas, como son: Rendimiento comercial, Valor de la producción, Área cosechada y el Precio al productor. El sistema de ecuaciones se define de forma lineal así:

$$AMR = a_1 + b_1AT + c_1IH + d_1PP$$

$$AT = a_2 + b_2IH + c_2PP + d_2VP$$

$$IH = a_3 + b_3AT + c_3PP + d_3VP$$

$$VP = a_4 + b_4RC + c_4C$$

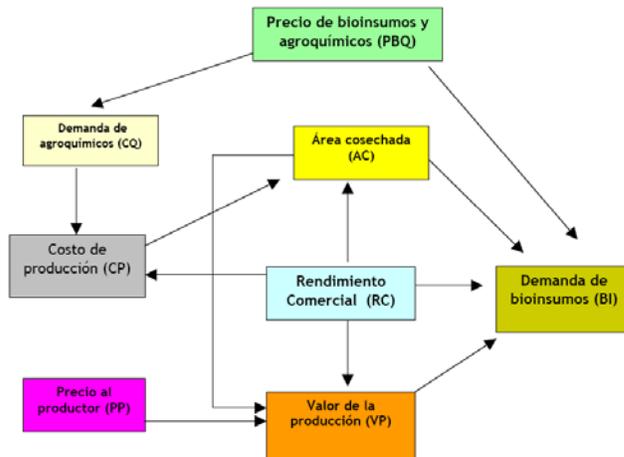
$$AC = a_5 + b_5RC$$

Las variables exógenas del subsistema son el Precio al productor (PP) y Rendimiento comercial (RC), las cuales, a su vez, forman parte de otros subsistemas; la variable de salida es el Área mínima rentable (AMR) para un determinado cultivo, definida como el número de hectáreas requeridas para generar el equivalente de dos salarios mínimos legales mensuales.

5) Subsistema ambiental (A)

En él interaccionan las variables: Demanda de bioinsumos (BI), Área cosechada (AC), Rendimiento comercial (RC), Valor de la producción (VP), Precio de bioinsumos y agroquímicos (PBQ), Demanda de agroquímicos (CQ), Costo de producción (CP) y Precio al productor (PP). La Figura 6 presenta su sistema de causalidades.

Figura 6. Causalidades - Subsistema ambiental (A)



Es subsistema está compuesto en su totalidad por variables que son parte de otros. El sistema de ecuaciones se define de forma lineal:

$$BI = a_1 + b_1PBQ + c_1AC + d_1RC + e_1VP$$

$$AC = a_2 + b_2RC + c_2CP$$

$$VP = a_3 + b_3RC + c_3AC + d_3PP$$

$$CQ = a_4 + b_4PBQ$$

$$CP = a_5 + b_5CQ + c_5RC$$

$$VP = a_6 + b_6PP$$

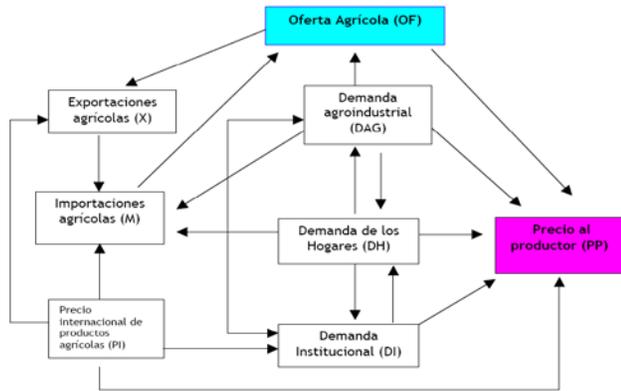
Las variables exógenas del subsistema son Precio al productor (PP) y Rendimiento comercial (RC), que son parte constitutiva y variables de salida de otros

subsistemas. Se tiene como variable de salida del sistema la Demanda de bioinsumos del cultivo bajo análisis.

6) Subsistema de mercado (M)

En él interaccionan las variables: Oferta agrícola (OF), Demanda agroindustrial (DAG), Demanda de los Hogares (DH), Demanda institucional (DI), Exportaciones agrícolas (X), Importaciones agrícolas (M), Precio internacional (PI) y Precio al productor (PP). Presenta el sistema de causalidades de la Figura 7.

Figura 7. Esquema de causalidades - Subsistema de Mercado (M)



El sistema de ecuaciones lineales está compuesto por una serie de demandas que en su conjunto definen el Consumo aparente, el cual debería ser la variable de salida del subsistema. Sin embargo, por la importancia de la variable Precio al productor –como elemento constitutivo de la definición de otras variables relevantes dentro de la competitividad–, es ésta (PP) la variable de salida del subsistema de mercado.

$$\begin{aligned}
 PP &= a_1 + b_1OF + c_1DAG + d_1DH + e_1DI + f_1PI \\
 DAG &= a_2 + b_2DH + c_2DI \\
 DH &= a_3 + b_3DAG + c_3DI \\
 DI &= a_4 + b_4DH + c_4DAG + d_4PI \\
 X &= a_5 + b_5OF + c_5PI \\
 M &= a_6 + b_6X + c_6PI \\
 O &= a_7 + b_7DAG + c_7M
 \end{aligned}$$

La variable exógena del subsistema es el Precio internacional, lo cual le da un carácter de sistema abierto y no autárquico a la medición de la competitividad agrícola, con lo cual se capta el *vaivén* de los precios de los bienes agrícolas en las diferentes bolsas internacionales.

Este subsistema posee la característica de ser un típico modelo de mercado en términos de oferta y demanda de un bien agrícola, en el cual el punto de equilibrio de las tradicionales funciones de oferta y demanda, viene a ser el Precio al productor. Pero, al incluir las exportaciones,

importaciones y el Precio internacional se fortalece su categoría, ya anotada, de modelo abierto.

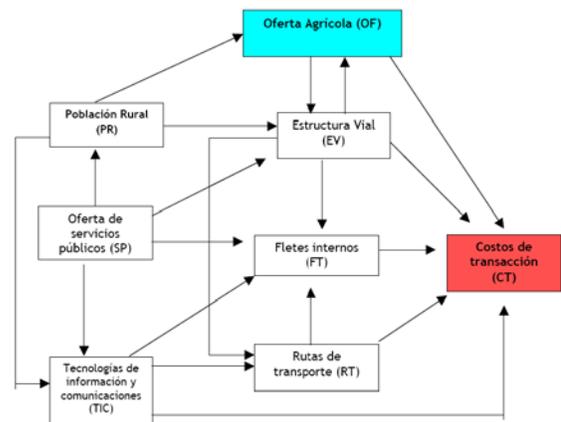
7) Subsistema de infraestructura (I)

En él interaccionan los Costos de transacción (CT), Oferta Agrícola (OF), Estructura vial (EV), Fletes internos (FT), Rutas de transporte (RT), Población rural (PR), Oferta de servicios públicos (SP) y Tecnologías de información y comunicaciones (TIC).

En este subsistema la interacción de las variables tiene como salida los Costos de transacción, entendidos no solo como los márgenes comerciales brutos y netos de los diferentes agentes comercializadores, sino también de la incidencia de las infraestructuras, vial y de transporte, en la conformación del precio en términos de los costos de transacción.

La Figura 8 presenta el sistema de causalidades de este subsistema.

Figura 8. Causalidades - Subsistema de Infraestructura (I)



El sistema de ecuaciones se define de forma lineal, así:

$$\begin{aligned}
 CT &= a_1 + b_1OF + c_1EV + d_1FT + e_1RT + f_1TIC \\
 OF &= a_2 + b_2EV + c_2PR \\
 EV &= a_3 + b_3PR + c_3OF + d_3SP \\
 FT &= a_4 + b_4EV + c_4SP + d_4RT + e_4TIC \\
 RT &= a_5 + b_5EV + c_5TIC \\
 PR &= a_6 + b_6SP \\
 TIC &= a_7 + b_7SP + c_7PR
 \end{aligned}$$

La variable exógena del subsistema es la Oferta de servicios públicos (SP), interpretando que ellos explican la existencia de aglomeraciones humanas en ciertos lugares, lo que, a su vez, justifica la existencia de proyectos viales y la oferta de transporte público. Con excepción de Oferta agrícola, este es un subsistema compuesto por variables

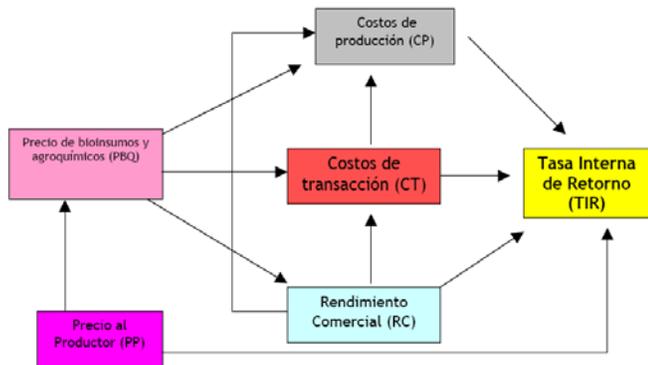
generadas por fuera del aparato productivo agrícola; además son determinadas por decisiones gubernamentales.

8) Subsistema financiero (F)

En este subsistema interaccionan Tasa interna de retorno (TIR), Costo de producción (CP), Costo de transacción (CT), Rendimientos comerciales (RC), Precios de bioinsumos y agroquímicos (PBQ) y Precio al productor (PP). La TIR es su variable de salida.

Este subsistema, al igual que el ambiental, está compuesto en su totalidad por variables contenidas en otros subsistemas, lo que refleja su alta dependencia y motricidad con respecto a los subsistemas expuestos. La Figura 9 presenta su sistema de causalidades.

Figura 9. Esquema de causalidades - Subsistema Financiero (F)



El sistema de ecuaciones se define linealmente como:

$$\begin{aligned}
 TIR &= a_1 + b_1CP + c_1CT + d_1RC + f_1PP \\
 CP &= a_2 + b_2CT + c_2RC + d_2PBQ \\
 CT &= a_3 + b_3RC + c_3PBQ \\
 RC &= a_4 + b_4PBQ \\
 PBQ &= a_5 + b_5PP
 \end{aligned}$$

La variable exógena es Precio al productor (PP), que es la variable de salida del subsistema de mercado.

B. Hacia un modelo de medición de la competitividad social y empresarial del sector agrícola

Los anteriores subsistemas suministran los primeros elementos primeros para formular un modelo de competitividad de la agricultura con dos variables de salida o metas a mejorar, estas son:

Meta empresarial. Seleccionar las especies y lugares que tengan una mayor rentabilidad financiera en un enfoque sistémico, con una función de producción que es una TIR, competitiva y definida como una Cobb-Douglas de la

siguiente forma:

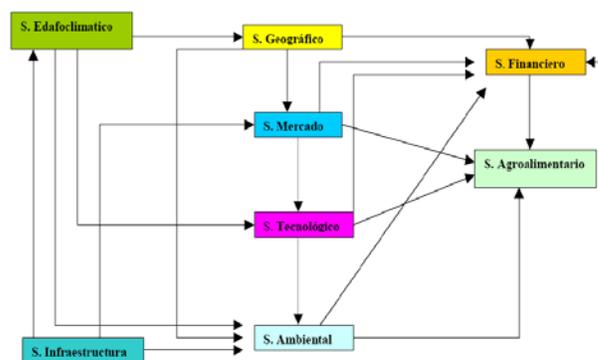
$$TIR = \Delta E^\alpha T^\beta G^\gamma S^\delta A^\epsilon M^\theta I^\lambda F^\sigma$$

Meta social. Seleccionar las especies y lugares que garanticen una línea de ingreso que permita una vida digna a una familia rural de cinco personas. La meta es un AMR; la función de producción de competitividad social está dada en este caso por otra función de producción tipo Cobb-Douglas:

$$AMR = \Delta E^\alpha T^\beta G^\gamma S^\delta A^\epsilon M^\theta I^\lambda F^\sigma$$

Los subsistemas se relacionan entre sí (ver Figura 10) para el logro de las dos metas.

Figura 10. Relación entre sub-sistemas



Como se puede observar, es el sistema agroalimentario y el AMR, la gran variable de salida que se propone para una modelación de la competitividad, en la cual la TIR se convierte en una gran variable intermedia, bajo el supuesto de que si es atractiva, ello es garantía *per se* de la existencia de buenos precios al productor, que conllevan a términos de intercambios eficientes para el agricultor y su familia.

C. Una aproximación a la construcción de indicadores para los subsistemas

La construcción de indicadores para la competitividad agrícola se hace a partir de las bases que dan los sistemas de ecuaciones de diferencias finitas de primer orden. Con este referente teórico se trabajan los indicadores propuestos para cada subsistema. La unidad geográfica de análisis de la competitividad agrícola es el departamento.

1) Subsistema edafoclimático

Las variables que se toman para estimar este subsistema por cultivo o especie son las siguientes:

- H_{jt} Humedad relativa (%) en el departamento j durante el año t.
- L_{jt} Precipitación pluvial (mm/año) en el departamento j durante el año t.

T_{jt}	Temperatura (°C promedio/año) en el departamento j durante el año t
B_{jt}	Brillo solar (horas/día) en el departamento j durante el año t
A_{ij}	Altimetría para la especie i (msnm) en el departamento j
O_{ijt}	Oferta de tierras aptas para la especie i (ha) en el departamento j durante el año t

$$F_{ijt} = 0$$

En segundo lugar se definen los requerimientos edafoclimáticos de la especie i, así:

H_i	Humedad relativa (%) requerida por la especie i
L_{it}	Precipitación pluvial (mm/año) requerida por la especie i
T_{it}	Temperatura (°C promedio/año) requerida por la especie i
B_{it}	Brillo solar (horas/día) requerida por la especie i
A_i	Altimetría óptima para la especie i (msnm)

Los requerimientos de la especie i se consideran como *lo esperado*; las variables del subsistema del departamento j en el año t, como lo observado. Esto se conceptualiza así:

$H_{jt} - H_i = 0$;	La humedad relativa en Dpto. J y año t es ideal para la especie i
$H_{jt} - H_i > 0$;	Restricciones en el departamento j para la especie i por excesiva humedad relativa.
$H_{jt} - H_i < 0$;	Existen restricciones en el departamento j para la especie i por baja humedad relativa
$L_{jt} - L_i = 0$;	La precipitación pluvial en Dpto. J y año t es ideal para la especie i
$L_{jt} - L_i > 0$;	La precipitación pluvial en el Dpto. j es excesiva para la especie i
$L_{jt} - L_i < 0$;	La precipitación pluvial en el Dpto. j es deficitaria para la especie i
$T_{jt} - T_i = 0$;	La temperatura en Dpto. J y año t es ideal para la especie i
$T_{jt} - T_i > 0$;	La temperatura en el departamento j es excesiva para la especie i
$T_{jt} - T_i < 0$;	La temperatura en el departamento j es baja para la especie i
$B_{jt} - B_i = 0$;	El brillo solar en Dpto. J y año t es ideal para la especie i
$B_{jt} - B_i > 0$;	El brillo solar en el departamento j es excesivo para la especie i
$B_{jt} - B_i < 0$;	El brillo solar en el departamento j es bajo para la especie i
$A_j - A_i = 0$;	La altura en departamento j es ideal para la especie i
$A_j - A_i > 0$;	La altura en el departamento j es excesiva para la especie i
$A_j - A_i < 0$;	La altura en el departamento j es muy baja para la especie i

Sin olvidar que la altura esta correlacionada significativamente con el brillo solar y la temperatura, principalmente, se puede postular una ecuación de diferencias finitas en la cual el área sembrada con especie i en departamento j se puede expresar como:

$$F_{ijt} = \beta_1 [H_{jt} - H_i] + \beta_2 [L_{jt} - L_i] + \beta_3 [T_{jt} - T_i] + \beta_4 [B_{jt} - B_i] + \beta_5 [A_j - A_i]$$

El estado óptimo en términos competitivos edafoclimáticamente de la especie i en el departamento j, es cuando las diferencias entre las cinco variables es cero, lo cual implica que:

Es decir, existe un área sembrada de la especie i, que es edafoclimáticamente homogénea. Por lo cual la heterogeneidad edafoclimática es una restricción para la especie i en el departamento j, la que se incrementa en la medida en que la sumatoria de los valores absolutos de los coeficientes β es creciente y mayor que cero:

$$[\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5] > 0$$

2) Subsistema geográfico

Este subsistema se articula con el edafoclimático a través del área sembrada de cada una de las especies, puesto que en aquí se estima su tendencia temporal con respecto al espacio geográfico departamental, la producción nacional y la población rural vinculada al cultivo de la especie. Las variables que se toman para estimar este subsistema por especie son:

F_{ijt}	Área de la especie i (hectáreas) en el departamento j durante el año t.
P_{ijt}	Producción de la especie i (TM) en el departamento j durante el año t.
PN_{it}	Producción Nacional de la especie i (TM) durante el año t.
PB_{jt}	Población rural dedicada a la producción agrícola (número de habitantes) en el departamento j durante el año t.
AD_j	Área en kilómetros cuadrados del departamento j.

En segundo lugar se definen los siguientes indicadores por especie:

F_{ijt} / AD_j	Hectáreas de la especie i / Área en km^2 del departamento j (t)
P_{ijt} / PN_j	Producción de la especie i en el departamento j / producción nacional de la especie i (t)
PB_{ijt} / F_{ijt}	Población dedicada a la agricultura en Depto. j / Ha de especie i (t)

A estos se les estima la significancia de sus tasas de crecimiento anual con la siguiente forma funcional:

$$(F_{ijt} / AD_j)_t = (F_{ijt} / AD_j)_0 e^{rt}$$

$$(P_{ijt} / PN_j)_t = (P_{ijt} / PN_j)_0 e^{rt}$$

$$(PB_{ijt} / F_{ijt})_t = (PB_{ijt} / F_{ijt})_0 e^{rt}$$

En términos estadísticos, se espera que las tasas de crecimiento r, sean significativamente diferentes de cero.

3) Subsistema tecnológico

Las variables que se toman para estimar este subsistema por especie son de nivel micro y se pueden encontrar en las planillas de costos de producción de cada departamento, las cuales son una Proxy de cómo se ha

asimilado el gasto en I+D, capacitación y asistencia técnica principalmente. Estos indicadores son:

- R_{ijt} Rendimiento comercial (kg/ha/año) de la especie i en el departamento j durante el año t .
- M_{ijt} Mano de obra requerida (jornales/ha/año) por la especie i en el departamento j durante el año t
- FZ_{ijt} Fertilizantes requeridos (kg/ha/año) por la especie i en el departamento j durante el año t
- Q_{ijt} Herbicidas, Insecticidas y Fungicidas requeridos (Litros/ha/año) por la especie i en el departamento j durante el año t

En segundo lugar se definen los requerimientos tecnológicos de la especie i , así:

- R_{it} Rendimiento comercial (kg/ha/año) en el paquete tecnológico óptimo de la especie i durante el año t
- M_{it} Mano de obra requerida (jornales/ha/año) en el paquete tecnológico óptimo por la especie i durante el año t
- FZ_{it} Fertilizantes requeridos (kg/ha/año) en el paquete tecnológico óptimo por la especie i durante el año t
- Q_{it} Herbicidas, Insecticidas y Fungicidas requeridos (Litros/ha/año) en el paquete tecnológico óptimo por la especie i durante el año t

En los requerimientos de la especie i , se considera lo esperado y las variables del subsistema del departamento j en el año t , como *lo observado*, lo cual se conceptualiza así:

- $R_{ijt}-R_{it}=0$ No hay brecha tecnológica para la especie i
- $R_{ijt}-R_{it}<0$ Existen brecha tecnológica para la especie i
- $M_{ijt}-M_{it}=0$ Uso ideal de la mano de obra en la especie i
- $M_{ijt}-M_{it}>0$ Uso irracional de la mano de obra en la especie i
- $M_{ijt}-M_{it}<0$ Existe brecha deficitaria en el uso de mano obra en la especie i
- $FZ_{ijt}-FZ_{it}=0$ Uso ideal de los fertilizantes en la especie i
- $FZ_{ijt}-FZ_{it}>0$ Uso irracional de los fertilizantes en la especie i
- $FZ_{ijt}-FZ_{it}<0$ Existe brecha deficitaria en uso de fertilizantes para especie i
- $Q_{ijt}-Q_{it}=0$ Uso ideal de herbicidas, insecticidas, fungicidas en especie i
- $Q_{ijt}-Q_{it}>0$ Uso irracional de herbicidas, insecticidas, fungicidas en especie i
- $Q_{ijt}-Q_{it}<0$ Brecha deficitaria en uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas para especie i

Se puede postular una ecuación de diferencias finitas del siguiente tipo:

$$[R_{ijt} - R_{it}] = \beta_1 [M_{ijt} - M_{it}] + \beta_2 [FZ_{ijt} - FZ_{it}] + \beta_3 [Q_{ijt} - Q_{it}]$$

El estado óptimo de la especie i en el departamento j es cuando las diferencias entre las cuatro variables es cero, lo cual implica que:

$$[R_{ijt} - R_{it}] = 0$$

Es decir, existe un nivel de adopción tecnológico autónomo para la especie i . Por tanto la heterogeneidad tecnológica es una restricción para la especie i en el departamento j , que se incrementa en la medida que la sumatoria de los valores absolutos de los coeficientes β es

creciente y mayor que cero:

$$[\beta_1 + \beta_2 + \beta_3] > 0$$

4) Subsistema financiero

Del subsistema tecnológico se deriva el financiero a través de la estructura de costos de producción por cada especie i , en el departamento j , durante el año t , lo cual en conjunto con los costos de transacción (fletes y márgenes comerciales principalmente), los rendimientos físicos por hectárea, los precios al productor y al consumidor, permiten estimar la Tasa Interna de Retorno [TIR] de cada una de las especies en departamento j en el año t .

Las variables que se toman para estimar este subsistema por especie son las siguientes:

- CP_{ijt} Costos de producción por hectárea de la especie i en el departamento j durante el año t
- PP_{ijt} Precio al productor de la especie i (\$/tonelada) en el departamento j durante el año t
- PC_{ijt} Precio al consumidor de la especie i (\$/tonelada) en el departamento j durante el año t
- R_{ijt} Rendimiento comercial (kg/ha/año) de la especie i en el departamento j durante el año t
- TIR_{ijt} Tasa Interna de Retorno (especie i en departamento j durante año t)

En segundo lugar se definen los siguientes indicadores por especie:

- $CT_{ijt} = PC_{ijt} - PP_{ijt}$ Costo de transacción (especie i , departamento j , año t)
- $VP_{ijt} = R_{ijt} * PP_{ijt}$ V/r de la producción a precios al productor (\$/hectárea)

Se estima una función tipo Cobb-Douglas para la TIR, la cual, previamente *logaritmada* (Ln) asume la siguiente forma lineal:

$$\text{Ln } TIR_{ijt} = \alpha + \beta \text{Ln } CT_{ijt} + \delta \text{Ln } VP_{ijt}$$

En términos de competitividad, se espera que el coeficiente β no sea positivo y significativo, pues ello implicaría una rentabilidad financiera apalancada en márgenes comerciales amplios y no en procesos eficientes de uso de recursos. Por ello, se espera un coeficiente δ alto y positivo, pues capta los efectos de una mayor productividad física y de la capacidad de negociación de los productores. Es decir:

$$\beta=0 \text{ y } \delta>0$$

5) Subsistema agroalimentario

Del subsistema financiero se deriva el agroalimentario; los costos de producción, los rendimientos físicos y el valor de la producción, permiten construir la fórmula del área mínima rentable [AMR] /especie. Las variables

tomadas en cuenta para estimar este subsistema son:

CP_{ijt}	Costos de producción / Ha (especie i, Dpto. j, año t).
R_{ijt}	Rendimiento comercial (kg/ha/año) de la especie i en el departamento j durante el año t
$VP_{ijt} = R_{ijt} * PP_{ijt}$	Valor de la producción a precios al productor (\$/Ha)

En segundo lugar se define la AMR como el número de hectáreas que generan dos salarios mínimos mensuales [SMM] como ingreso neto al año. La AMR depende del producto y su precio, rendimiento agronómico (tecnología) y estructura de costos.

Esta AMR en términos de hectáreas requeridas de la especie i en el departamento j en el año t se define como:

$$AMR_{ijt} = (2 \text{ SMM} * 12) / \{VP_{ijt} - CP_{ijt}\}$$

A esta se le estima la significancia de su tasa de crecimiento anual con la siguiente forma funcional:

$$(AMR_{ijt})_t = (AMR_{ijt})_0 e^{rt}$$

Se espera que su tasa de crecimiento r, sea negativa y significativa en el tiempo, pues ello refleja ganancias en competitividad de la seguridad agroalimentaria de los productores y sus familias.

6) Subsistema comercial

Las variables que se toman para estimar este subsistema por especie son:

CH_{ijt}	Consumo en fresco de los hogares urbanos de la especie i en el departamento j durante el año t
CI_{ijt}	Consumo en fresco institucional urbano de la especie i en el departamento j durante el año t
AG_{it}	Consumo de la agroindustria nacional de la especie i en el año t
X_{it}	Exportaciones de la especie i durante el año t
M_{it}	Importaciones de la especie i durante el año t
PP_{ijt}	Precio al productor de la especie i (\$/tonelada) en el departamento j durante el año t
PI_{ijt}	Precio internacional de la especie i (US/kg) (en país j durante año t)

Se formula una ecuación para el país, como un todo, en términos de mercado, puesto que los flujos interdepartamentales e interregionales impiden una estimación a este nivel. Esta ecuación de consumo aparente de la especie i en el año t, queda formulada como:

$$CA_{it} = \sum CH_{ijt} + \sum CI_{ijt} + AG_{it} + (X_{it} - M_{it}) \quad (j = 1, 2, \dots, m \text{ departamentos})$$

A estos se les estima la significancia de sus tasas de crecimiento anual con las siguientes formas funcionales:

$$(CA_{it})_t = (CA_{it})_0 e^{qt}$$

$$(\sum CH_{ijt} + \sum CI_{ijt} + AG_{it})_t = (\sum CH_{ijt} + \sum CI_{ijt} + AG_{it})_0 e^{\varphi t}$$

$$(X_{it} - M_{it})_t = (X_{it} - M_{it})_0 e^{\sigma t}$$

Se espera que los coeficientes q (mercado interno y externo), φ (mercado interno) y σ (mercado externo) sean positivos y mayores a cero en términos estadísticos, puesto que ellos dan la velocidad de expansión del mercado de la especie i / año, velocidad que refleja su competitividad de mercado.

Lo anterior lleva a la construcción de un modelo de precios al productor como una función Cobb-Douglas, la cual al *logaritarse* permite estimar la elasticidad de este precio frente al consumo aparente y los precios internacionales:

$$\ln PP_{ijt} = \alpha + \beta \ln CA_{it} + \delta \ln PI_{ijt}$$

La competitividad es positiva si el coeficiente β es positivo, significativo y mayor que uno, pues ello implica unos mercados –interno y externo– dinámicos; se espera también que el coeficiente δ sea bajo y positivo, pues refleja que el efecto del mercado internacional no es *tan* determinante de los precios internos. Es decir:

$$(\beta, \delta) > 0$$

7) Subsistema de infraestructura

Este subsistema se estima a nivel departamental; las variables que considera su cálculo son:

PT_{jt}	Población total del departamento j durante el año t.
KM_{jt}	Km de carretera pavimentado en el departamento j durante el año t.
CA_{jt}	Cobertura del acueducto (%) en departamento j durante el año t.
CE_{jt}	Cobertura de la energía eléctrica (%) en departamento j durante año t.
CT_{jt}	Cobertura telefónica (%) en departamento j durante el año t.
IT_{jt}	Número de abonados a Internet en departamento j durante el año t.
FS_{jt}	Flete por TM a Bogotá desde el departamento j durante el año t.
FB_{jt}	Flete por TM a Buenaventura desde el departamento j durante año t.
FQ_{jt}	Flete / TM a Barranquilla desde el departamento j durante el año t.
DS_{jt}	Distancia a Bogotá en km desde departamento j durante año t.
DB_{jt}	Distancia a Buenaventura en km desde departamento j durante año t.
DQ_{jt}	Distancia a Barranquilla en km desde el departamento j durante año t.

Con estas variables se formulan los siguientes indicadores:

$(IT_{jt} / PT_{jt}) * 1.000 = CIT_{jt}$; Conectividad virtual

$(KM_{jt} / PT_{jt}) * 1.000 = CV_{jt}$; Conectividad vial

$(FS_{jt} / DS_{jt}) = \$/\text{tonelada/kilómetro}$ a Santa Fe de Bogotá

$(FB_{jt} / DB_{jt}) = \$/\text{tonelada/kilómetro}$ a Buenaventura

$(FO_{jt} / DO_{jt}) = \$/\text{tonelada/kilómetro}$ a Barranquilla

A partir de lo anterior se formula un modelo Cobb-Douglas de corte transversal para la infraestructura del país, en términos de costos de transacción por fletes internos y de salida a puerto, formulándose los modelos doble logarítmicos del siguiente tipo:

$$\ln(FS_{jt} / DS_{jt}) = b_0 + b_1 \ln CA_{jt} + b_2 \ln CE_{jt} + b_3 \ln CT_{jt} + b_4 \ln CIT_{jt} + b_5 \ln CV_{jt}$$

$$\ln(FB_{jt} / DB_{jt}) = c_0 + c_1 \ln CA_{jt} + c_2 \ln CE_{jt} + c_3 \ln CT_{jt} + c_4 \ln CIT_{jt} + c_5 \ln CV_{jt}$$

$$\ln(FO_{jt} / DO_{jt}) = d_0 + d_1 \ln CA_{jt} + d_2 \ln CE_{jt} + d_3 \ln CT_{jt} + d_4 \ln CIT_{jt} + d_5 \ln CV_{jt}$$

Estos modelos establecen la elasticidad de los costos de transporte hacia el principal centro consumidor y los dos principales puertos del país, con respecto a los niveles de infraestructura pública existente en cada departamento, lo cual permitirá formular los valores esperados por departamento a partir de los modelos y jerarquizar su rezago entre ellos.

8) Subsistema ambiental

En este subsistema interaccionan algunas variables que se desprenden de los subsistemas geográfico y tecnológico:

F_{ijt} Área de la especie i (hectáreas) en el departamento j durante el año t .

P_{ijt} Producción de la especie i (TM) en el departamento j durante el año t .

FZ_{it} Fertilizantes requeridos (kg/ha/año) en el paquete tecnológico óptimo por la especie i durante el año t .

Q_{it} Herbicidas, Insecticidas y Fungicidas requeridos (litros/ha/año) en el paquete tecnológico óptimo por la especie i durante el año t .

BI_{it} Bioinsumos requeridos (kg, l/ha/año) por la especie i durante el año t .

Con estas variables se formulan los siguientes indicadores:

BI_{it} / F_{ijt} Bioinsumos / Ha sembrada (especie i , departamento j , año t)

BI_{it} / P_{ijt} Bioinsumos por TM (especie i , departamento j , año t)

BI_{it} / FZ_{it} Relación bioinsumos / fertilizantes requeridos (litros/ha/año - especie i , año t)

BI_{it} / Q_{ijt} Relación bioinsumos / otros agroquímicos requeridos (litros/ha/año - especie i , durante año t)

Se hace una modelación Cobb-Douglas que se somete a una transformación doblelogarítmica por especie tipo en corte transversal:

$$\ln(BI_{it} / F_{ijt}) = a_0 + a_1 \ln(BI_{it} / FZ_{it}) + a_2 \ln(BI_{it} / Q_{ijt})$$

$$\ln(BI_{it} / P_{ijt}) = b_0 + b_1 \ln(BI_{it} / FZ_{it}) + b_2 \ln(BI_{it} / Q_{ijt})$$

Estos modelos establecen la elasticidad de los coeficientes de demanda de bioinsumos por especie, respecto a las relaciones de equivalencia de estos con los fertilizantes y los otros agroquímicos existentes en cada departamento, lo que permite formular los valores esperados por departamento de coeficientes de demanda a partir de los modelos y jerarquizar el rezago entre ellos.

D. Una conclusión teórica

Como conclusión de este intento teórico de proponer una forma de medir la competitividad agrícola, al conceptualizarla como un *todo competitivo* por su no inmutabilidad lleva a afirmar que su medición es el resultado de muchas *historias*, en este caso de ocho: lo edafoclimático, lo tecnológico, lo geográfico, lo agroalimentario, lo ambiental, el mercado, la infraestructura, y lo financiero.

En este orden de ideas, se puede afirmar que la historia de la competitividad se puede contar de forma parcial, y tener una aproximación temporal de corto plazo, para contarla completa como se busca en esta sección, sin olvidar que por ser un indicador de la dinámica de la interacción entre lo físico, lo ambiental, lo tecnológico y las estructuras sociales humanas, la existencia de contradicciones a su interior es un hecho recurrente.

III. LA COMPETITIVIDAD COMO UN ENFOQUE DE CADENA PRODUCTIVA

Esta sección realiza una aproximación teórica de la competitividad con un referente territorial para el Valle del Cauca, a partir de la relación íntima entre productividad y competitividad. Haciendo énfasis en la productividad de los factores, en especial la tierra, y su efecto sobre la competitividad, medida a partir de la convergencia entre las producciones observadas en campo y las esperadas a partir de desarrollos tecnológicos de corte empresarial.

Se parte de la hipótesis de McArthur y Sachs (2002), que indica que el cambio tecnológico es el más importante determinante del crecimiento económico, para formular un marco explicativo de los determinantes de la competitividad de la cadena.

A. Identificación de sus eslabones

Las cadenas se caracterizan por contar con los siguientes eslabones: precosecha o producción; cosecha y poscosecha en finca; comercialización para el mercado en fresco; agroindustria para la producción de pulpas; y procesos agroindustriales a partir de la pulpa.

Para cada eslabón se identifican las variables que determinan su competitividad, lo que permite la formulación de ecuaciones con los determinantes por especie de la competitividad intraeslabón.

Los eslabones se enlazan entre sí a partir de mecanismos de mercado y de su estructura en cada enlace intereslabón, sin olvidar que los costos de transacción entre un eslabón y otro determinan también la competitividad total de la cadena.

El modelo propuesto en este trabajo funciona bajo el principio de *Trazabilidad de la producción* (trayectoria completa del producto desde su origen hasta su consumo), pero considerándolos dos sistemas independientes.

1) Eslabón de precosecha

En este eslabón se identificaron seis variables relevantes para determinar la competitividad de la producción:

- V1 Material de siembra
- V2 Suelos
- V3 Clima
- V4 Fertilización
- V5 Manejo de plagas y enfermedades
- V6 Manejo de malezas

Si se parte de la igualdad,

$$\text{Producción} = \text{Área} \times \text{Rendimientos}$$

El rendimiento (tonelada/ha), es el indicador de productividad alrededor del cual gira en esta propuesta la medición de la competitividad de la cadena, distinguiendo que existen unos rendimientos esperados [RE], que son para el caso los obtenidos por los empresarios agrícola, y rendimientos observados [RO] que corresponden al promedio de los productores del territorio que se elige para el análisis. La diferencia entre lo esperado y lo observado, en rendimientos y producción, permite obtener la magnitud de la brecha tecnológica existente –y del esfuerzo que requiere cerrarla–, para mejorar los niveles de competitividad de la cadena.

Definidas las variables y lo referente a la brecha

tecnológica, existirá una serie de coeficientes A_{ij} que definen el impacto de cada variable sobre la brecha en términos de Producción Esperada [PE] - Producción Observada [PO].

Cada especie estudiada, tendrá una ecuación que determina su competitividad en este eslabón. Por ejemplo para la especie 1:

$$A_{11} V_1 + A_{12} V_2 + A_{13} V_3 + A_{14} V_4 + A_{15} V_5 + A_{16} V_6 = PE_1 - PO_1$$

donde, despejando PE_1 :

$$PO_1 = PE_1 - (A_{11} V_1 + A_{12} V_2 + A_{13} V_3 + A_{14} V_4 + A_{15} V_5 + A_{16} V_6)$$

y generalizando:

$$PO_i = PE_i - \text{Suma} (A_{11} V_1 + \dots + A_{ij} V_j) \quad (\text{Ecuación 1})$$

(i = 1, 2, 3,n especies)

(j = 1, 2, 3,m variables)

2) Eslabón de postcosecha en finca

Se identificaron también seis variables relevantes para determinar la competitividad de la postcosecha en finca:

- V1 Métodos de recolección
- V2 Transporte en finca
- V3 Selección y clasificación
- V4 Almacenamiento en finca
- V5 Empaque
- V6 Despacho

Definidas las variables, el impacto de cada una sobre la brecha se mide en términos de producción [Producción Observada (PO)-Producción Despachada (PD)].

Cada especie, tendrá también una ecuación que determina su competitividad en este eslabón. Manteniendo el ejemplo de la especie 1:

$$A_{11} V_1 + A_{12} V_2 + A_{13} V_3 + A_{14} V_4 + A_{15} V_5 + A_{16} V_6 = PO_1 - PD_1$$

despejando PD_1 :

$$PD_1 = PO_1 - (A_{11} V_1 + A_{12} V_2 + A_{13} V_3 + A_{14} V_4 + A_{15} V_5 + A_{16} V_6)$$

Generalizando queda:

$$PD_i = PE_i - \text{Suma} (A_{11} V_1 + \dots + A_{ij} V_j) \quad (\text{Ecuación 2})$$

3) Eslabón de comercialización en fresco

En este eslabón se hace énfasis en los canales

especializados (supermercados), identificando siete variables relevantes para determinar la competitividad de la comercialización en fresco:

- V1 Logística de transporte
- V2 Descargue
- V3 Transporte interno
- V4 Selección y clasificación para despacho a canal detallista
- V5 Transporte a puesto detallista
- V6 Almacenamiento
- V7 Exhibición al público

Canales detallistas, como la tienda de barrio, las plazas de mercado y los mercados móviles, siguen siendo relevantes, en los esquemas de distribución, en especial en los estratos 1, 2 y 3. Estos canales tradicionales poseen una articulación de mercado interesante con los mayoristas de las centrales de abasto y un estrecho lazo con los mercados institucionales –como el de los restaurantes de *almuerzo ejecutivo*–. Su participación en el gasto en alimentos de los hogares urbanos colombianos, se estima en 25%. Se espera que este mercado institucional absorba gran porcentaje de las frutas y hortalizas que, por problemas de calidad, no pueden llegar a los supermercados.

Definidas las variables, el impacto de cada una sobre la brecha, se mide en términos de producción [Producción Recibida (PR)-Producción Vendida (PV)]. Continuando con el esquema de los otros eslabones, cada especie tendrá también una ecuación que determina su competitividad. Manteniendo el ejemplo original:

$$A_{11} V_{1+} + A_{12} V_{2+} + A_{13} V_{3+} + A_{14} V_{4+} + A_{15} V_{5+} + A_{16} V_{6+} = PR_1 - PV_1$$

despejando PV_1 :

$$PV_1 = PR_1 - (A_{11} V_{1+} + A_{12} V_{2+} + A_{13} V_{3+} + A_{14} V_{4+} + A_{15} V_{5+} + A_{16} V_{6+})$$

y generalizando:

$$PV_i = PR_i - \text{Suma } (A_{11} V_{1+} + \dots + A_{ij} V_j) \quad (\text{Ecuación 3})$$

4) Eslabón de agroindustria I

En este eslabón se considera el proceso de transformación agroindustrial de nivel I, que es la base para cualquier proceso agroindustrial de nivel II. En él, se identificaron cinco variables relevantes para determinar la competitividad de la agroindustria I, estas son:

- V1 Logística de transporte
- V2 Descargue
- V3 Transporte interno
- V4 Selección y clasificación para proceso
- V5 Despulpado

Definidas las variables, el impacto de cada una sobre la brecha se mide en términos de producción [Producción para Agroindustria Recibida [PAR]-Producción de Procesada (PP)].

Continuando con el esquema de los otros eslabones, cada especie tendrá también una ecuación que determina su competitividad³.

$$PP_i = PAR_i - \sum (A_{11} V_{1+} + \dots + A_{ij} V_j) \quad (\text{Ecuación 4})$$

5) Eslabón de agroindustria II

Sobre este eslabón es importante aclarar el sesgo de la misma sobre las frutas (CCI, 2000, p.2):

Son varias las industrias que requieren diferentes frutas para fabricar alimentos⁴. Por un lado, están las industrias dedicadas a la transformación de frutas frescas (jugos, conservas, pulpas, mermeladas y similares), en las cuales cerca del 80% de las materias primas usadas son frutas. Y, por otro, las industrias de lácteos, pastelería, repostería, preparación de cereales, alimentos para animales y bebidas en las cuales, aunque se requieren grandes cantidades tanto de frutas frescas como de procesadas para producir sus bienes finales, el peso relativo de las frutas en su consumo intermedio escasamente se sitúa entre 1% y 10%. También demandan frutas, aunque no en grandes volúmenes, industrias farmacéuticas que producen artículos homeopáticos, medicinales y esencias y extractos de frutas, cuya importancia creció en forma significativa durante la última década.

Este eslabón es el último en la modelación de la cadena, y parte de la oferta del procesamiento de nivel I, en el cual se identificaron cuatro variables, una por cada proceso, relevantes para determinar la competitividad de la agroindustria II, estas fueron, para el caso de las frutas:

- V1 Proceso de jugos
- V2 Proceso de bebidas saborizadas
- V3 Proceso de mermeladas
- V4 Otros procesos

Definidas las variables, el impacto de cada una, se mide en términos de Producción Agroindustrial Total (PAT)⁵.

3 No existe consenso sobre la definición de agroindustria... se acepta que se relaciona con actividades industriales que incluyen procesos que van desde bajos grados de adecuación de materias primas de origen primario, sin cambiar sus características físicas: lavado, limpieza, desmote, clasificación, selección pasterización; hasta procesos con alto grado de transformación: destilación, separación de membranas, microfiltración, extrusión, procesos enzimáticos, etc. (Corpoica, 1998, p.71).

4 Existen otros sectores en la industria nacional que han empezado a consumir frutas frescas y procesadas, en especial aquellos asociadas con la producción de medicamentos homeopáticos y farmacéuticos.

5 La EAM solo considera establecimientos con diez o más empleados, por lo tanto este análisis no considera las microempresas, las cuales representan

Continuando con el esquema de los otros eslabones, cada especie tendrá también una ecuación que determina su competitividad en la agroindustria II.

$$PAT_1 = (A_{11} V_1 + A_{12} V_2 + A_{13} V_3 + A_{14} V_4) \quad (\text{Ecuación 5})$$

B. Modelando la competitividad agrícola como cadena

Partiendo de los cinco eslabones, están identificadas veintiocho variables que determinan la competitividad de toda la cadena en los cinco eslabones. Con esta consideración se puede formular un modelo explicativo de tipo sistémico que involucre variables de competitividad con sus ecuaciones por especie. Para este efecto se agregaran dos subsistemas: la comercialización en fresco y la producción agroindustrial.

1) Competitividad en fresco

Bajo el supuesto de óptimo funcionamiento de los mercados, se puede asumir que PR = PD (articulación del eslabón de postcosecha en finca y el de comercialización en fresco). Entonces, reemplazando la Ecuación 1 en la 2:

$$PD_i = PE_i - [(\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])pc + (\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])pf] \quad (\text{Ec. 6})$$

Los subíndices pc y pf, se refieren a los eslabones de pre y post cosecha en finca. Reemplazando (6) en (3):

$$PV_i = PE_i - [(\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])pc + (\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])PF + \sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{17} V_7])cf] \quad (\text{Ecuación 7})$$

donde cf se refiere al eslabón comercialización en fresco.

En esta ecuación se puede observar como los elementos que le restan a la producción esperada (la óptima de corte empresarial), son tres en el sistema de comercialización en fresco, para un total de 19 variables que entran a determinar la competitividad de una especie en estos tramos de la cadena.

2) Competitividad agroindustrial

También bajo el supuesto de óptimo funcionamiento de los mercados que articulan la materia prima y la agroindustria, se puede asumir que PAR = PD (articulación del eslabón de postcosecha en finca para agroindustria y el de agroindustria I). Entonces

reemplazando la ecuación (6) en la (4):

$$PP_i = PE_i - [(\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])pc + (\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])pf + (\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{15} V_5])pp] \quad (\text{Ecuación 8})$$

donde, pp se refiere al eslabón de agroindustria I.

Reemplazando (8) en (5):

$$PAT_i = PE_i - [(\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])pc + (\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{16} V_6])pf + \sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{15} V_5])pp + (\sum [A_{11} V_1 + \dots + A_{14} V_4])ag] \quad (\text{Ec. 9})$$

donde ag se refiere al eslabón de agroindustria II.

En esta ecuación se puede observar como los elementos que le restan a la producción esperada (la óptima de corte empresarial), son cuatro en el sistema de producción agroindustrial, para un total de 21 variables que entran a determinar la competitividad de una especie en estos cuatro tramos de la cadena.

Como las ecuaciones (8) y (9) poseen en común los eslabones con los subíndices pc y pf, sustituyendo estos por la sigla SAG (eslabones agrícolas), cf por CF (comercialización en fresco) y pp con ag por SI (eslabones industriales), las ecuaciones se pueden expresar en la siguiente forma:

$$PV = PE - (SAG + CF) \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$PAT = PE - (SAG + SI) \quad (\text{Ecuación 11})$$

Sumando (10) y (11), se obtiene una sola ecuación:

$$(PV + PAT) = PE - (SAG + CF + SI) \quad (\text{Ecuación 12})$$

La cual presenta el siguiente comportamiento.

$$[PE - (SAG + CF + SI)] > 0$$

$$(PV + PAT) / \partial SAG < 0$$

$$(PV + PAT) / \partial CF < 0$$

$$(PV + PAT) / \partial SI < 0$$

Si $(SAG + CF + SI)$ tiende a 0, entonces

$$(PV + PAT) = PE$$

En otras palabras, si en el tiempo se superan todos los elementos que le restan competitividad a la cadena hortifrutícola, las producciones vendida en fresco y transformada en derivados agroindustriales tienden a igualarse con la producción esperada la cual se produce en condiciones tecnológicas de alto rendimiento y calidad.

una proporción significativa de la cadena de procesamiento de frutas y hortalizas (CCI, 2000).

Es decir la relación Producción Observada/Producción Esperada tiende a uno ($PE = PO$) como consecuencia de una mayor competitividad. En el corto plazo se puede considerar a la PE como una constante (PE^0), por lo que, a partir de los comportamientos definidos en la función, tendrá un comportamiento logístico del siguiente tipo:

$$(PV+PAT) = PE^0 / [PE^0 + e^{-(SAG+CF+PI)}] \quad (\text{Ecuación 13})$$

De acuerdo con la disponibilidad de datos existentes, la ecuación (13) se puede estimar de la siguiente forma, solo para los eslabones SAG:

$$(PO/PE) = F [(RE-RO)]$$

Donde:

PO_i	Producción Observada de la especie i
PE_i	Producción Esperada de la especie i
RO_i	Rendimiento Observado de la especie i
RE_i	Rendimiento Esperado de la especie i

El techo de la función está dado por $(PO/PE)=1$, lo cual configura un comportamiento logístico de la competitividad, en este caso de los eslabones de precosecha y postcosecha en finca.

$$(PO/PE) = 1/[1 + e^{-(RE-RO)}] \quad (\text{Ecuación 14})$$

Para su estimación econométrica la función tendría la siguiente forma:

$$(PO/PE) = 1/[1 + e^{-(a+b(RE-RO))}] \quad (\text{Ecuación 15})$$

La ecuación 15 se puede estimar de forma transversal para un grupo de especies o variedades afines para analizar comportamientos de subsectores productivos de la agricultura. Pero también se puede hacer una adaptación al análisis temporal de una sola especie agrícola para dicho análisis.

C. Anotaciones teóricas

La formulación de un modelo explicativo de la competitividad agrícola en cinco eslabones conectados entre sí por mecanismos de mercado, permitió establecer un juego de 28 variables determinantes de la misma, las cuales darían lineamientos para la formulación de una agenda con prioridades y estrategias para la vigilancia tecnológica y comercial (Gomes, Valle, & Freitas, 1998).

Si bien el número de ecuaciones será igual al número de especies agrícolas para la cadena analizada, lo cierto es que

hay que tratar cada caso en su dimensión particular, máxime cuando la estimación de la competitividad siempre presentará diferencias claras entre especies, en el sentido del papel que juega la productividad de los factores, en especial el de la tierra, medida por los rendimientos físicos.

Entonces, para las especies perennes el diseño debe ser diferenciado con respecto a las semipermanentes y los de ciclo corto, lo que se refleja en el bajo poder explicativo de los rendimientos y la brecha tecnológica sobre la competitividad medida por la convergencia entre la producción observada y la esperada.

Cuando se habla en términos de la productividad de los factores productivos, es indudable que la capacitación y transferencia de tecnología juegan un papel transversal a todas las variables identificadas y formuladas por el modelo expuesto. Es decir, sigue siendo relevante lo anotado acerca de la necesidad de crear competencias individuales y colectivas entre los productores hortifrutícolas, a partir de proyectos de capacitación, para garantizar funciones de producción con rendimientos crecientes. En otras palabras:

...la productividad de los factores productivos deberá responder de manera positiva ante los niveles de adopción del cambio técnico formulado en la capacitación, lo cual teóricamente se reflejara en una función de producción individual y sectorial mayor en términos de calidad (competitividad) y cantidad (volumen producido) (García, 2003, p.12).

Con este resultado, es válida la reflexión sobre la conveniencia de ampliar el concepto de tecnología, que ha estado centrado en el concepto de tecnologías duras (semillas, agroquímicos, maquinaria y equipos).

Las tecnologías duras han hecho aportes significativos a la productividad y la competitividad de la agricultura, y se prevé que serán de nuevo fuentes de contribuciones importantes. Hacia las próximas décadas se visualiza desde ahora que habrá una nueva 'revolución verde', esta vez a partir de los avances en biotecnología. Sin embargo, existen otras tecnologías menos tangibles, que no se presentan incorporadas en estructuras físicas. Tales tecnologías han tendido a ser ignoradas o subordinadas. En conjunto, pueden ser denominadas como "tecnologías blandas". De ellas, en el pasado recibieron algún reconocimiento y atención las "prácticas de manejo" de cultivos y animales, cuya existencia era considerada de alguna importancia sólo en la medida en que contribuyeran a propiciar la expresión del potencial productivo de las tecnologías duras (Cano, 1999, p.189).

IV. REFERENCIAS

- Acuña, C. Torales, S., Marcó, M., Harrand, L., & Marcucci, S. (2003). *Utilización de marcadores moleculares en el análisis de la variabilidad genética de una población de mejoramiento de Eucalytus grandis*. Recuperado de http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/_archivos/_biblioteca/165%20Marcucci%20Trab%20compi.pdf
- Cano, J. (1999). Perspectivas de la extensión para la agricultura: Multifuncional y a la medida. *Revista Nacional de Agricultura*, 926-927. 9-14
- CCI. (2000). *Frutas procesadas. Perfil de producto N° 10*. Bogotá, Colombia: CCI
- Claros, G. (1998). Marcadores moleculares: qué son, cómo se obtienen y para qué valen. *Encuentros en la biología*, 49 [en línea]. Recuperado de <http://www.encuentros.uma.es/encuentros49/marcadores.html>
- Corpoica. (1998). *Grandes transformaciones del sector agropecuario colombiano en la última década*. Bogotá, Colombia: Produmedios
- Daza, S. (2002). *Redes neuronales artificiales: Fundamentos, modelos y aplicaciones* [monografía]. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos12/redneur/redneur.shtml>
- Destinobles, G. (2007). Introducción a los modelos de crecimiento económico exógeno y endógeno [edición electrónica]. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros/2007a/243/>
- Everitt, B. (1977). *Cluster analysis*. Londres, UK: Heinemann
- García, R. (2003). La construcción de competencias a partir de los proyectos de capacitación: Su papel en la competitividad hortofrutícola [Documento CHFV-03].
- Gomes, A., Valle, S., & Freitas, A. (1998). *Análise prospectiva de cadeias produtivas agropecuarias*. *Revista Brasileira de Agroinformática*, 1(1), 53-65
- Harbinson, F., Maruhnic, J., & Resnick, J. (1970). *Quantitative analysis of modernization and development*. industrial relations section. Princeton, NJ: Princeton University
- Harnett, D. & Murphy, J. (1987). *Introducción al análisis estadístico*. Madrid, España: Addison-Wesley
- Johnstone, J. 1976. Typology formation across socio economic indicators. *Socio-Economic Planning Review*, 10(4), 167-171
- Lange, O. (1975). *Los "todos" y las partes*. México, D.F., México: Fondo de Cultura Económica
- McArthur, J. & Sachs, J. (2002). The growth competitiveness index: measuring technological advancement and the stages of development. En *The global competitiveness report*, (pp.28-51). Ginebra, Suiza: World Economic forum
- Medina, M. Yanes, M., & Zaffaroni, C. (2001). *Selección asistida por marcadores selección fenotípica convencional*. Recuperado de <http://www.fagro.edu.uy/~fitotecnia/docencia/materiales%20apoyo/seleccion%20asistida.pdf>
- Misas, M., López, E., & Querubín, P. (2002). *La inflación en Colombia: una aproximación desde las redes neuronales*. Bogotá, Colombia: Banco de la Republica
- National Human Genome Research Institute [NHGRI]. (s.f). *Glosario hablado de términos genéticos* [en línea]. Recuperado de <http://www.genome.gov/GlossaryS/>
- Rosales, R.A., E. Apaza, J.A. & Bonilla.(2004). *Economía de la producción de bienes agrícolas, teoría y aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes
- Stuber, W., Polacco, M., &Senior, M. (1999). Synergy of empirical breeding, marker assisted selection and genomics to increase crop yield potential. *Crop Science*, 39, 1573-1583

V. CURRÍCULO

Ronald García Negrete (†). Economista, Especialista en Población y Desarrollo y Magister (c) en Historia de la Universidad del Valle. Profesor de la Universidad Santiago de Cali y Coordinador del GIDEEI.