

Innovación, Productividad, Competitividad, Medio Ambiente y Desarrollo

Compilador

Unidad de Investigación e Innovación



Innovación, Productividad, Competitividad, Medio Ambiente y Desarrollo

Compilador

Unidad de Investigación e Innovación



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

BUCARAMANGA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES: 1705



Gómez Parada, Edgar Javier

Innovación, productividad, competitividad, medio ambiente y desarrollo / Edgar Javier Gómez Parada [otros quince autores] ; diseño gráfico Olga Lucía Solano Avellaneda y Jhon Fredy Hoyos Pino ; corrección de Estilo María Amalia García Núñez -- Bucaramanga (Colombia) : Universidad Santo Tomás, 2018

311 páginas : ilustraciones y fotografías a color (Colección contribuciones de investigación ; 1)

Incluye referencias bibliográficas

ISBN: 9789588477640

1. Agricultura - Innovaciones tecnológicas – Santander (Colombia) 2. Agricultura y medio ambiente – Santander (Colombia) 3. Protección del medio ambiente 4 Productividad agrícola – Santander (Colombia) I González Sarmiento, Gustavo II. Ramírez Suárez, Álvaro III. Gómez Corzo, José Agustín IV. Rodríguez Barrios, Diana Lizeth V. Torres Morantes, Félix Alberto VI. Morantes Perico, Iván Guillermo VII. Barajas, Elvin Javier VIII. Aranzazu Hernández, Fabio IX. Rico Martínez, Mónica Andrea X. Zabala Vargas, Sergio Andrés XI. Florez Ordoñez, Yudy Natalia XII. Delgado Moreno, Frank Nicolás XIII. Mantilla Pinilla, Eduardo XIV. Therán Barajas, Carmen Elisa XV. Castro Orellana, Emelis Fernanda XVI. Solano Avellaneda, Olga Lucía, diseñador gráfico XVII. Hoyos Pino, Jhon Fredy, diseñador gráfico XVIII. García Núñez María Amalia, corrección de estilo XIX. Universidad Santo Tomás – Unidad de Investigación e Innovación XX. Colección XXI. Título.

630.7 SDD 23

CO-BuUST

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación CRAI, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga.

Directivos

Universidad Santo Tomás

Seccional Bucaramanga

Fray Érico Juan MACCHI CÉSPEDES, O.P.

Rector Seccional

Fray Oscar Eduardo GUAYÁN PERDOMO, O.P.

Vicerrector Académico

Fray Oscar Eduardo GUAYÁN PERDOMO, O.P.

Vicerrector Administrativo Financiero (E)

Ab. Gladys ROJAS VILLAMIZAR

Secretaria General

ISBN: 978-958-8477-64-0

Edición

© Universidad Santo Tomás

Bucaramanga, Colombia

2018

Libro

Innovación, Productividad, Competitividad, Medio Ambiente
y Desarrollo

Autores

Varios

Compilador

Unidad de Investigación e Innovación

Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga

Unidad de Investigación e Innovación

Gloria Judith Palacio Osorio

Directora

Hilda Luz González Cabanzo

Ingeniera de Soporte

Edgar Javier Gómez Parada

Líder Grupo de Investigación Integración y Globalización

de los Negocios

Departamento de Publicaciones

C.P. Freddy Luis Guerrero Patarroyo

Director

Diseño y producción gráfica

Centro de Diseño e Imagen Institucional - CEDII

Dis. Graf. Olga Lucía Solano Avellaneda

Directora

C.S. María Amalia García Núñez

Corrección de Estilo

Dis. Graf. Jhon Fredy Hoyos Pino

Diseño y diagramación

Impresión

Universidad Industrial de Santander

Calle10 No. 26-58

Bucaramanga, Colombia

© Derechos reservados

Universidad Santo Tomás

Seccional Bucaramanga, Colombia

Carrera 18 No. 9 - 27

PBX: (+57 7) 698 5858 Exts.: 6864 - 6732

CONTENIDO

PRÓLOGO.....	7
---------------------	----------

Características de pymes exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga	13
--	-----------

Edgar Javier Gómez Parada, Gustavo González Sarmiento

Determinación del dinamismo competitivo de sectores exportadores de Santander	47
--	-----------

Edgar Javier Gómez Parada

Eficacia del programa de transferencia de nueva tecnología de producción en el cultivo de cacao de Rionegro, Santander: Un estudio de caso	83
---	-----------

*Álvaro Ramírez Suárez, José Agustín Gómez, Diana Lizeth Rodríguez Barrios
Félix Alberto Torres Morantes, Iván Guillermo Morantes Perico
Elvin Javier Barajas, Fabio Aranzazu Hernández*

Innovación tecnológica en el agro. Experiencia de monitoreo preventivo y correctivo de suelos en cultivo de ají	129
--	------------

*José Agustín Gómez Corzo, Mónica Andrea Rico Martínez,
Sergio Andrés Zabala Vargas, Yudy Natalia Florez Ordoñez*

Tecnologías de comunicación inalámbrica para el monitoreo y transmisión remota de información asociada a variables ambientales: Una propuesta para el sector agrícola y oil & gas 173

Sergio Andrés Zabala Vargas

Propuesta del mejoramiento de la metodología de manufactura esbelta por medio de optimización de sistemas de manufactura y simulación de eventos discretos 213

Frank Nicolás Delgado Moreno

La valoración ambiental en la conservación de los bienes y servicios ambientales 225

Eduardo Mantilla Pinilla

Valoración ambiental hacia la conservación y recuperación del humedal El Pantano 271

Carmen Elisa Therán Barajas, Eduardo Mantilla Pinilla

Emelis Fernanda Castro Orellana

PRÓLOGO

En este libro se plasman resultados de investigación desarrollados por los grupos de investigación de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga. El libro está compuesto por ocho capítulos enmarcados en los Campos de Acción de la USTA, Ambiente y Sociedad e involucra las apuestas: 1- Emprendimiento para el desarrollo humano y social. 2- Desarrollo tecnológico con Apuesta Social. 3- Desarrollo ambiental sostenible. Está dirigido a investigadores, docentes y estudiantes que estén interesados en profundizar los temas tratados y avanzar en nuevas investigaciones. Sirve además de referente para docentes y estudiantes vinculados a semilleros y a procesos de formación en investigación, porque cada capítulo hace una exposición sobre el proceso investigativo que se desarrolló hasta alcanzar los resultados finales.

En el capítulo de autoría de Edgar Javier Gómez y Gustavo González Sarmiento sobre “Características de pymes exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga”, del grupo de Investigación Integración y Globalización de los Negocios de la Facultad de Negocios Internacionales, se describen aspectos relevantes de las empresas exportadoras. A partir de una encuesta aplicada a empresarios exportadores del Área Metropolitana de Bucaramanga, en el documento se presentan características relacionadas con el tiempo de creación de las empresas,

tiempo de experiencia en los procesos de exportación, diversificación de mercados, actividades de preparación para el acceso a mercados internacionales, conocimiento de mercados externos, los principales obstáculos que se presentan para las exportaciones, tanto internos como externos y aquellos aspectos que las empresas consideran deben mejorar para que los procesos de inserción a mercados internacionales sean más exitosos. Entre los principales resultados se destaca la poca experiencia en internacionalización y la baja diversificación de mercados a los cuales exportan las empresas, los pocos esfuerzos que se realizan para adquirir información y conocimiento de los mercados internacionales y los pocos esfuerzos por aumentar los niveles tecnológicos, en general, se aprecian debilidades estructurales en las empresas para asegurar permanencia en los mercados internacionales.

En el capítulo “Determinación del dinamismo competitivo de sectores exportadores de Santander”, el autor Edgar Javier Gómez, del grupo de investigación Integración y Globalización de los Negocios de la Facultad de Negocios Internacionales, plantea la aplicación de indicadores de ventaja comparativa revelada a sectores exportadores del departamento de Santander. Para ello identifica la oferta exportable de Santander representada por los sectores con mayor participación en el valor de las exportaciones, tomando como base los capítulos del arancel de aduanas. A ellos les aplica los indicadores de Balanza comercial relativa sectorial, Balanza comercial relativa sectorial respecto a un mercado (Estados Unidos), Índice de ventaja comparativa revelada respecto al mercado de Estados Unidos y el Índice de Balassa. Metodológicamente presenta la forma como se calcula cada indicador y luego hace una interpretación cualitativa de los resultados, donde se destaca principalmente que existen dos sectores en el departamento con alta tendencia exportadora que son el sector de combustibles representado por el petróleo y el sector cafetero. Los demás sectores presentaron tendencia a la disminución de las exportaciones y a la pérdida de oportunidades en el mercado de Estados Unidos.

Álvaro Ramírez y otros investigadores del grupo de investigación USTAGRI de la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias en asocio con Fedecacao, escriben el capítulo “Eficacia del programa de transferencia de nueva tecnología de producción en el cultivo de

cacao de Rionegro, Santander: un estudio de caso”, donde hacen seguimiento a la incorporación de tecnologías por parte de los agricultores de cacao del municipio de Rionegro dentro del Programa de Transferencia de Tecnología - PTT de Fedecacao. El paquete tecnológico recomendado por el PTT está asociado a 15 prácticas genéticas y agronómicas de manejo del cultivo de cacao para lograr altos rendimientos y calidad del grano relacionados con manejo de nuevos clones, arreglos forestales, identificación y control de enfermedades, podas, fertilización y buenas prácticas en la cosecha y beneficio. Por un lado se analiza la eficacia de la difusión del programa y por otro la adopción de las tecnologías. En general se encontró sobre la difusión del programa que los cultivadores han adquirido alto conocimiento en casi todos los aspectos; con respecto a la adopción de las tecnologías se encontraron rangos entre 94% a 50% indicando que no todas las prácticas tecnológicas han sido adoptadas por los agricultores; muestran también que en casi todos los casos de adopción de las prácticas los agricultores hacen una fase previa de experimentación en el cultivo. Como resultado final concluyen que el programa de transferencia de tecnología de Fedecacao en el municipio de Rionegro ha sido exitoso porque ha elevado el conocimiento de los agricultores sobre el manejo integral del cultivo del cacao y en alta proporción han incorporado en sus actividades prácticas tecnológicas que mejoren la productividad del cultivo.

Un trabajo experimental sobre la aplicación de tecnología inalámbrica para el monitoreo de un cultivo de ají presentan José Agustín Gómez, del grupo de Investigación en Administración de Empresas Agropecuarias y Mónica Andrea Rico, Sergio Andrés Zabala, y Yudy Natalia Florez del grupo de investigación UNITEL de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones en el capítulo “Innovación tecnológica en el agro - experiencia de monitoreo preventivo y correctivo de suelos en cultivo de ají”. El trabajo consiste en brindar al campo alternativas tecnológicas para el control y seguimiento de cultivos. A partir de un conjunto de sensores ubicados en la zona del cultivo, se hace la adquisición de datos sobre las variaciones de humedad relativa del suelo y luego son enviados por medio de comunicación inalámbrica a un computador central para que sean procesados mediante un *software* de gestión y visualización. El sistema está diseñado de manera portable para que se ubique manualmente cada módulo en el cultivo. En el documento se exponen las carac-

terísticas tecnológicas del sistema implementado, las ventajas sobre otras alternativas, el modo de funcionamiento, la transmisión de datos a través de la red inalámbrica, y el funcionamiento del *software* y la interfaz del usuario, que están ubicadas a distancia del cultivo. Se presentan además datos de prueba de la aplicación del sistema en la finca El Limonal ubicada en el municipio de Piedecuesta, Santander.

Un capítulo sobre “Tecnologías de comunicación inalámbrica para el monitoreo y transmisión remota de información asociada a variables ambientales: una propuesta para el sector agrícola y oil & gas”, es desarrollado por Sergio Andrés Zabala del grupo de investigación UNITEL de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones. En el trabajo se presenta el diseño de un sistema tecnológico para el monitoreo de actividades especialmente de transporte de gas y petróleo en el territorio colombiano a partir de redes inalámbricas, donde se contempla las especificaciones técnicas, considerando las características topográficas y las variables que se puedan controlar; las características tecnológicas de los módulos y del sistema en general; la configuración de las tarjetas y los nodos que conforman el sistema; se tienen en cuenta además requerimientos de energía y se contempla el uso de paneles solares. Se presenta el prototipo que se ha elaborado y las pruebas que se han llevado a cabo para la validación del mismo.

En otro capítulo desarrollado por Frank Nicolás Delgado, del grupo de investigación CAYPRO de la Facultad de Ingeniería Industrial, presenta un estudio de caso sobre la adaptación del enfoque de Manufactura Esbelta - ME en una pequeña empresa de Bucaramanga dedicada a la fabricación de vidrio templado para vehículos; se describe el seguimiento al proceso llevado a cabo por la empresa, las ventajas y desventajas de dicha adopción y las características que presenta la empresa que facilitan o dificultan que la metodología de ME sea aplicada, el capítulo se titula “Propuesta del mejoramiento de la metodología de manufactura esbelta por medio de optimización de sistemas de manufactura y simulación de eventos discretos”.

Eduardo Mantilla Pinilla, del grupo de investigación INDERCOM de la Facultad de Contaduría Pública, presenta un capítulo sobre la “Valoración ambiental en la conservación de los bienes y servicios ambien-

tales”, donde aborda el tema del Pago por Servicios Ambientales - PSA como mecanismo para compensar la conservación de los ecosistemas. Es necesario conservar ecosistemas estratégicos que aún tienen alto potencial ambiental y que poseen gran cantidad de bienes y servicios ambientales, como el agua, captación de CO₂, liberación de oxígeno y otros elementos bióticos y abióticos que garantizan la continuidad de la raza humana y la calidad de vida. El autor propone un mecanismo de contabilidad y valoración ambiental que compense los costos de oportunidad del territorio para conservar, presenta ejemplos sobre el uso del suelo y casos prácticos de determinación del costo de oportunidad en el predio El Rasgón de propiedad de la Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, del Humedal el Pantano del municipio de Girón, La Ciénaga de la Caimanera ubicada en el litoral Caribe colombiano, departamento de Sucre y el Páramo de Santurbán en el departamento de Santander. Con base en estos casos analizados se propone el modelo para el Pago de Servicios Ambientales.

Carmen Elisa Therán del grupo de investigación Economía Social y Desarrollo Empresarial de la Facultad de Economía, Eduardo Mantilla Pinilla, y Emelis Fernanda Castro, del grupo de investigación para el desarrollo contable INDERCON de la Facultad de Contaduría Pública, presentan el capítulo “Valoración ambiental hacia la conservación y recuperación del humedal El Pantano”, en el que abordan el tema de condiciones para la valoración ambiental de humedales, desde referentes internacionales y regulaciones en Colombia. Se presenta una caracterización de la zona del humedal El Pantano de importancia estratégica como ecosistema para los municipios de Girón y Lebrija en Santander, de los aspectos físicoquímicos, biológicos, geográficos y ecológicos que se complementa con analizar la situación socioeconómica de los habitantes del ratio de influencia del humedal. Al final se hace una determinación de costos de oportunidad del humedal para diferentes escenarios, destacando como conclusión principal que solo mediante el compromiso de todos los actores sociales se puede garantizar la preservación de zonas ambientalmente estratégicas para garantizar la oferta de bienes y servicios ambientales que garantizan sostenibilidad y calidad de vida a los habitantes.

Edgar Javier Gómez Parada

Características de pymes exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga¹

Edgar Javier Gómez Parada

*Grupo de investigación Integración y Globalización de los Negocios. Facultad de Negocios Internacionales Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.
Correo electrónico: edgar.gomez01@ustabuca.edu.co*

Gustavo González Sarmiento

*Grupo de investigación Integración y Globalización de los Negocios. Facultad de Negocios Internacionales Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.
Correo electrónico: gusta_gsar@hotmail.com*

Introducción

Desde hace varios años, a partir de la apertura económica implementada en Colombia en los inicios de la década de los noventa, el aumento de la internacionalización de la economía y, más específicamente, el incremento de las exportaciones se ha considerado como elemento sustancial del desarrollo para el país y para las regiones. A pesar de ello, en un diagnóstico sobre el proceso de internacionalización de la economía colombiana Reina (2010) expresa que no se tiene una apertura significativa en las exportaciones, ya que la oferta exportable está concentrada en productos primarios y son pocos los destinos para dichos

-
1. El presente documento corresponde a resultados del proyecto de investigación “Análisis del proceso de internacionalización de pymes manufactureras del área metropolitana de Bucaramanga, desarrollado por el grupo de investigación Integración y Globalización de los Negocios de la Facultad de Negocios Internacionales de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga.

productos, además los principales mercados a los que exporta Colombia han estado sujetos a inestabilidad; se exporta a mercados considerados naturales y no se han explorado ni explotado oportunidades con los países asiáticos que son los motores de la economía y el comercio mundial desde inicios del siglo XXI (Cardona, 2015).

Son múltiples los esfuerzos que se han venido haciendo en busca de elevar el nivel de participación de los sectores económicos en los escenarios internacionales, impulsados por el Gobierno nacional y apoyados por los diferentes ministerios a través de dinámicas regionales. Tal es el caso, con la creación del Comité Asesor Regional de Comercio Exterior (CARCE), a partir de la segunda mitad de la década del noventa, que según Gómez, Botiva y Guerra (2010) fueron escenarios de interlocución entre actores regionales y el Gobierno nacional para promover la oferta exportable departamental y las Comisiones Regionales de Competitividad en la década 2000-2010, y que como lo resalta Moguillansky (2012) tuvieron papel activo en los diálogos regionales para el Tratado de Libre Comercio de Colombia con Estados Unidos. Dentro de esta última dinámica se da especial importancia a la internacionalización y promoción del comercio exterior de la región, a través de un programa de formación exportadora a los empresarios; diversificación de mercados para los productos exportables de la región; participación en ferias y misiones internacionales; evidenciando de esta manera la importancia que tienen para la economía de la región los procesos de internacionalización de productos (Freyle, 2010) y (Echeverry, Medina y Silva, 2013)

De manera activa, a partir del 2010 se han incluido en la agenda de relaciones internacionales de Colombia diversos acuerdos de integración económica y tratados de libre comercio, como mecanismo para dar mayor dinámica a la economía del país. Para ello, las empresas deberían haberse preparado para que su proceso de internacionalización hubiese sido efectivo y los esfuerzos se hayan reflejado en aumentar la presencia de productos de Santander en mercados internacionales, y haber ganado progresivamente en competitividad y calidad.

De los hechos anteriormente señalados de manera breve, surge la necesidad de comprender cómo es el comportamiento de las empresas exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga (AMB), como

mecanismo que conduzca a aportar elementos para acciones de mejoramiento en los procesos de internacionalización. En ese sentido se plantea un proyecto de investigación desde el grupo de Integración y Globalización de los Negocios de la Facultad de Negocios Internacionales de la Universidad Santo Tomás Bucaramanga, con el objetivo de analizar el proceso de internacionalización de las pymes manufactureras del área metropolitana de Bucaramanga, que comprende elementos como los modos de entrada de las empresas a los mercados externos, características y conocimiento de los mercados destino, propósitos empresariales para la internacionalización, principales obstáculos internos y externos y líneas de mejoramiento.

Para ello se realizó una encuesta estructurada que se aplicó directamente a una muestra de 32 empresas pymes exportadoras de la industria manufacturera del área metropolitana de Bucaramanga en el 2011.

En el presente documento se hace especial mención a los obstáculos internos y externos que identifican las empresas para los procesos de internacionalización y a los aspectos, que a consideración de los empresarios exportadores, requieren mejoramiento para optimizar la incursión en mercados externos, apartes que se presentan al final del documento. Se incluye inicialmente un resumen de la revisión bibliográfica que soporta el tema de investigación sobre determinantes de la internacionalización de empresas; posteriormente se muestran los aspectos metodológicos del estudio en general, se exponen las características de las empresas en términos de número de empleados, experiencia empresarial e internacional, diversificación y conocimiento de mercados externos.

Determinantes en la internacionalización empresarial

Se encuentran diversos estudios que dan explicación sobre los aspectos que influyen en los procesos de internacionalización de las empresas. Según Fernández y Castresana (2005), entre las principales barreras que influyen en la decisión de exportar de las pymes están la falta de información sobre mercados exteriores y el proceso de exportación y algunos aspectos internos como la falta de recursos. Se identifica, además, que

las empresas buscan como ventajas para la internacionalización la rentabilidad, la diversificación de riesgos y la disminución de los costos. Estos autores mencionan barreras de conocimiento sobre aspectos como la competencia, los canales de distribución, formas de pago y los tipos de ayudas disponibles. Igualmente, se refieren a barreras de recursos humanos y financieros para adelantar estudios de mercado y generar ventas en el exterior. Se identifican en el estudio barreras de procedimiento derivadas de las diferencias culturales, los obstáculos arancelarios y la excesiva documentación y controles, entre otros. Por último, existen barreras exógenas como la inestabilidad política y el tipo de cambio.

Escolano y Belso (2003) encuentran, que el compromiso adoptado por las direcciones empresariales es fundamental para fomentar la internacionalización. Las estructuras organizacionales más complejas tienden a aparecer en las empresas donde los directivos tienen mayor compromiso con las exportaciones y aquellas donde la dirección tiene menos compromiso con la actividad exportadora, con estructuras organizacionales más simples. Además, aquellas empresas donde el recurso humano tiene mayor formación y capacitación presentan actitudes más favorables hacia la internacionalización.

En el mismo sentido, López (2006) haciendo referencia a Becker (1955) propone la existencia de dos tipos de capital humano en el interior de la empresa, el genérico que son las personas que adquieren la capacitación por fuera de la empresa y el específico que se desarrolla dentro de la empresa. Para el caso de las empresas españolas López (2006) encuentra que aquellas empresas que disponen de un mayor nivel de capital humano genérico, es decir, mayor proporción de recurso humano con estudios profesionales tienen una mayor probabilidad de entrar en los mercados exteriores, este tipo de recurso humano influye en el entorno empresarial en el aumento de la productividad y también permiten mayor grado de penetración en los mercados internacionales. Pero también encuentra evidencia de la influencia del capital humano específico en el proceso de internacionalización, ya que el conocimiento adquirido por este recurso es difícil de imitar por los competidores y otorga diferenciación frente a otras firmas. Concluye por tanto, que el capital humano de la empresa, genérico y específico, es uno de los factores clave en la competitividad

internacional, dotando a las mismas de una mayor capacidad para entrar y vender productos en los mercados exteriores.

La influencia del tamaño de la empresa se destaca en el trabajo de Suárez, Olivares y Galván (2002), al afirmar que las empresas más grandes exportan a mayor número de países y a regiones que están geográfica, económica y culturalmente más dispersos que las empresas más pequeñas. Esto puede deberse a la mayor cantidad de recursos que disponen las empresas más grandes, ya que el proceso de internacionalización exige, especialmente en sus inicios, la disposición de recursos. Además, las grandes empresas diversifican más sus exportaciones; es decir, que sus ventas en el extranjero están distribuidas en mayor número de mercados. Las empresas pequeñas tienden a exportar a mercados con mayor cercanía geográfica, económica y cultural y a concentrar sus exportaciones a pocos países. Según Suárez, Olivares y Galván (2002) en un estudio sobre empresas de las islas Canarias, el tamaño de la empresa influye también en la estrategia de expansión internacional, de manera que a medida que la empresa aumenta de tamaño su estrategia va pasando paulatinamente de la concentración hacia la dispersión geográfica, derivado principalmente de la capacidad de disposición de recursos para asumir riesgos y para adelantar estrategias comerciales más intensas.

Pla y Cobos (2002) muestran, que la aceleración del proceso de internacionalización está ligada a una actitud proactiva de los directivos de la organización, a una fuerte estrategia de marketing y a las influencias de las redes de relaciones establecidas con clientes y competidores, independiente del sector y de la naturaleza tecnológica del mismo. Encuentran también que las instituciones de apoyo no ejercen influencia sobre la velocidad de la internacionalización.

Como lo confirma Sigala y Martínez (2011), las empresas que presentan un proceso de internacionalización acelerado, tienen mayor grado de integración a redes de clientes, además de una superior orientación internacional del sector y la estrategia empresarial. También encuentra influencia de la experiencia de los directivos en asuntos de internacionalización con la velocidad con la que la empresa incursiona en mercados externos.

Para Eusebio y Llonch (2006), las empresas más exitosas en los mercados externos son las de mayor experiencia exportadora y tienen una estrategia centrada en la dispersión de las ventas a mayores mercados exteriores. Los directivos de estas empresas confían en las ventajas competitivas de su producto en términos de imagen y contenido tecnológico, así mismo, realizan mayores inversiones en actividades de investigación y desarrollo y utilizan redes propias de distribución mediante la implantación de filiales comerciales en los mercados externos.

A nivel nacional, se han hecho investigaciones sobre el proceso de internacionalización de las empresas. Tal es el caso del estudio “Estrategia e internacionalización en las pymes”, realizado por Calle y Tamayo (2005) para empresas pymes antioqueñas, en el que encuentran características asociadas con el proceso de internacionalización desde la cultura y la mentalidad exportadora, y concluyen que, para iniciar la inserción en mercados externos se requiere vencer resistencias culturales. Entre los principales resultados se puede destacar que las empresas con mayor grado de internacionalización son las que tienen más años de existencia y han esperado adquirir madurez para iniciar este proceso (al menos 10 años); por otro lado, existe poco compromiso de las empresas pymes hacia los mercados internacionales.

Metodología

Unidad de análisis: empresa exportadora pyme manufacturera que esté radicada en el área metropolitana de Bucaramanga (AMB).

Criterios de inclusión:

- Formalmente registrada como empresa en la Cámara de Comercio de Bucaramanga que cubre el área metropolitana (municipios de Bucaramanga, Girón, Floridablanca y Piedecuesta).
- Que haya realizado exportaciones en el 2010
- Que las exportaciones sean significativas

Los parámetros que delimitan este estudio son:

Tabla 1. *Parámetros*

Ficha técnica	
Marco espacial	Bucaramanga y su área metropolitana
Marco temporal	Abril de 2011
Tipo de muestreo empleado	Muestreo irrestricto aleatorio
Instrumento de recolección	Encuesta dirigida
Tamaño de la población	133 empresas
Unidad de muestreo	Empresa manufacturera del área metropolitana de Bucaramanga que exporta
Nivel de confiabilidad 95%	1,96
Margen de error	15%
Proporción a favor	50%
Proporción en contra	50%
Representatividad	42%
Tamaño de la muestra	32 Empresas

Fuente: Elaboración propia.

Para la recolección de información primaria se diseñó un instrumento de investigación que consistió en cuestionario sobre aspectos característicos del proceso de internacionalización. El cuestionario se sometió a prueba académica y de campo para hacer los ajustes respectivos.

Entre las variables incluidas en el estudio están: Experiencia internacional, características del mercado destino, diversificación de mercados, formas de internacionalización, actividades de preparación para la exportación, conocimiento del mercado destino, propósitos de la internacionalización, obstáculos para la internacionalización, aspectos de mejoramiento de la empresa para facilitar la internacionalización, mayor ampliación en Gómez y González (2011).

Para el diseño del instrumento de investigación y la selección de las variables se tomaron como base estudios relacionados con barreras y obstáculos para la internacionalización de Arteaga y Fernández (2010), Leonidou (2004) y elementos que intervienen en el proceso de internacionalización de las pequeñas empresas en Leonidou, Katsikeas, Pali-hawadana, Spyropoulou (2007), entre otros.

La aplicación de la encuesta se hizo directamente en la empresa, previo contacto del grupo investigador y el diligenciamiento fue realizado mediante entrevista directa al empresario con toma de información inmediata.

Caracterización de las empresas

El 31% de las empresas exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga para el año 2010 contó con más de 51 empleados, hecho que indica que son empresas entre medianas y grandes. El 12,5% contaba con menos de 10 empleados ubicándolas en el rango de microempresas según la clasificación colombiana (Ley 905 de 2004). El resto (56,2%) corresponde a pequeñas empresas. Esto indica que la mayor representación empresarial exportadora del área metropolitana de Bucaramanga está en las pymes (tabla 2).

Tabla 2. *Número de empleados de la empresa exportadora año 2010*

Rango	Empresas	Porcentaje %
De 1 a 10 empleados	4	12,5
De 11 a 20 empleados	6	18,8
De 21 a 30 empleados	8	25,0
De 31 a 40 empleados	2	6,3
De 41 a 50 empleados	2	6,3
Más de 51 empleados	10	31,3
Total	32	100,0

Fuente: Elaboración propia.

El 59% de las empresas exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga tienen más de 20 años de creación, lo que muestra que la tendencia de exportación es más dada en empresas que llevan suficiente tiempo en el mercado local. En cierta medida, la vocación exportadora de las empresas responde al modelo gradual de crecimiento empresarial frente a las exportaciones. Esta tendencia se refuerza con el hecho de que solo el 3% de las empresas exportadoras tienen entre 1 y 4 años de creación (tabla 3).

En general, el 84,5% de las empresas exportadoras tienen más de 10 años de creación; el 12,5% entre 5 y 9 años y el 3% menos de 5 años. De acuerdo con estos datos las empresas exportadoras manufactureras del área metropolitana de Bucaramanga esperan obtener algún grado de madurez y experiencia en el mercado interno antes de comenzar procesos de internacionalización.

Tabla 3. *Tiempo de creación de la empresa exportadora*

	Empresas	Porcentaje %
Más de 25 años	10	31,3
Entre 20 y 25 años	7	21,9
Entre 15 y 19 años	2	6,3
Entre 10 y 14 años	8	25,0
Entre 5 y 9 años	4	12,5
Entre 1 y 4 años	1	3,1
Total	32	100,0

Fuente: Elaboración propia.

Experiencia internacional

El 22% de las empresas exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga tiene entre 1 y 5 años de estar exportando; el 78% tiene más de 5 años con experiencia en exportaciones. Sin embargo, solo el 12,5% tiene una experiencia internacional mayor a 20 años, lo que indica que

los procesos de internacionalización, en la mayoría de las empresas exportadoras son todavía recientes y que son pocas las empresas que han tenido una sólida consolidación en el tiempo en mercados externos.

Tabla 4. *Tiempo de presencia de las empresas exportadoras en mercados externos*

Experiencia	No.	%
1 a 5 años ^o	7	21,9
6 a 10 años	9	28,1
11 a 15 años	6	18,8
16 a 20 años	6	18,8
Mayor de 20 años	4	12,5
Total	32	100

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de exportaciones continuas es muy similar al tiempo de presencia en los mercados internacionales. El 22% de las empresas lleva entre 1 y 5 años haciendo exportaciones de manera continua. El 12,5% realiza exportaciones sin interrupción desde hace 20 años, que corresponde exactamente con las empresas que llevan más de 20 años haciendo exportaciones.

Tabla 5. *Exportaciones realizadas de manera continua por las empresas manufactureras del área metropolitana de Bucaramanga*

Rango	Empresas	%
1 – 5 años	7	21,9
6 – 10 años	12	37,5
11 – 15 años	4	12,5
16 – 20 años	5	15,6
Más de 20 años	4	12,5
Total	32	100

Fuente: Elaboración propia.

Diversificación de mercados

La diversificación de los mercados destino de las exportaciones de las pymes manufactureras del área metropolitana de Bucaramanga es sensiblemente baja, ya que el 18,8% de las empresas cuentan con un solo mercado y el 56% de las empresas envían sus productos a 2 y 4 países, en general, el 75% de las empresas tiene como destino de sus exportaciones menos de 5 países. Solo el 3% (una empresa) realiza exportaciones a más de 10 países y el 22% cuenta con destinos entre 5 y 10 países. Esto evidencia baja diversificación de mercados destino de las exportaciones y deja entrever que existe una amplia perspectiva para explorar nuevos mercados por parte de las empresas exportadoras.

Tabla 6. *Número de países a los que exportan las empresas manufactureras pymes del área metropolitana de Bucaramanga*

	Empresas	%
Únicamente a un país	6	18,8
Entre 2 y 4 países	18	56,3
Entre 5 y 7 países	4	12,5
Entre 8 y 10 países	3	9,4
Más de 10 países	1	3,1
Total	32	100

Fuente: Elaboración propia.

Los principales destinos de las empresas pymes manufactureras del área metropolitana de Bucaramanga son los países latinoamericanos (se destacan Venezuela y Ecuador, que son países fronterizos con Colombia); sin embargo, el tiempo de permanencia en estos mercados es menor al del mercado norteamericano, hecho que indica que las empresas del AMB que exportan a estos mercados cercanos no logran sostener la permanencia exportadora.

De acuerdo con los conceptos de distancia psicológica de los mercados destino, los países latinoamericanos son considerados psicológicamente

cercanos para las empresas del AMB, por las similitudes culturales, políticas, económicas, de idioma, de producción, entre otras; mientras que Estados Unidos y Canadá al igual que los países de la Unión Europea son considerados psicológicamente lejanos por las diferencias en dichos aspectos.

Es por tanto evidente la tendencia de las empresas del área metropolitana de Bucaramanga a exportar a países considerados psicológicamente cercanos.

Tabla 7. *Áreas de mercado destino de las exportaciones de las pymes de las empresas del AMB*

Área de mercado de exportación	Países	Frecuencia (%)
Norteamérica	16	50%
Latinoamérica	29	90,60%
Unión Europea	6	15,60%

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del estudio no se encontró evidencia de empresas que realicen exportaciones a países del Lejano Oriente, África, el Oriente Medio y países del resto de Europa fuera de la Unión Europea.

Complementando con el ítem anterior, se refuerza la idea de que es ostensiblemente bajo el número de países destino de las exportaciones y estas se concentran en mercados psicológicamente cercanos que, por las condiciones de la economía colombiana y latinoamericana son países menos exigentes que los países desarrollados.

Acceso al mercado

Las principales actividades de preparación que realizan las empresas para la exportación son el montaje de páginas web para dar a conocer la empresa y sus productos; además, adelantan acciones de investigación y desarrollo de productos. Otras estrategias de preparación a la exportación es la realización de planes exportadores; la asignación de las res-

ponsabilidades del proceso exportador en un departamento específico y la certificación de calidad.

Estos hechos reflejan que las exportaciones son una decisión gerencial debidamente planeada para lo cual la empresa, de alguna manera se prepara y reconoce la importancia de este proceso.

Tabla 8. *Actividades de preparación para la exportación por parte de las empresas exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga*

	Número de empresas	%
Certificación de calidad	14	45,2
Página Web	26	81,3
Departamento de Comercio Exterior	15	48,4
Investigación y desarrollo de productos	23	71,9
Plan exportador	17	54,8

Fuente: Elaboración propia.

El plan exportador se ha entendido como una estrategia de planeación para la promoción de las exportaciones y es una herramienta bastante utilizada por las empresas para explorar la entrada a mercados externos.

Respecto a las formas de entrada a los mercados externos, el 50% de las empresas utiliza agentes o distribuidores internacionales como principal forma de entrada a los mercados extranjeros, el 34% realiza ventas directas a consumidores finales en los países a los cuales exporta y el 28% hace sus operaciones de internacionalización mediante comercializadoras internacionales. En menor medida, se establecen alianzas con empresas extranjeras, otras veces con empresas nacionales o se hacen negocios con clientes de otros países en las ferias o eventos promocionales como ruedas de negocios.

El conocimiento del mercado exterior en el cual se ubican las mercancías por parte de las empresas exportadoras, se logra mediante la experiencia y va en relación directa con la presencia en dichos mercados y el compromiso en el proceso de internacionalización. Para la valoración del conocimiento del mercado se incluyeron en el estudio los siguientes factores: requisitos de entrada, competencia (conocimiento de los competidores), estructura de precios, canales de distribución, consumidor o cliente final, necesidades del mercado, requerimientos de adaptación del producto y contactos. A continuación se presentan las apreciaciones de los empresarios exportadores del área metropolitana de Bucaramanga a ese respecto.

Tabla 9. *Conocimiento del mercado a los cuales exportan las empresas manufactureras del área metropolitana de Bucaramanga*

	Ningún conocimiento		Bajo conocimiento		Conocimiento medio		Alto conocimiento		Muy alto	
Factores	No. Emp.	%	No. Emp.	%	No. Emp.	%	No. Emp.	%	No. Emp.	%
Requisitos de entrada	0	0,0	0	0,0	4	12,5	18	56,3	10	31,3
Competencia	0	0,0	5	15,6	15	46,9	9	28,1	3	9,4
Estructura de precios	0	0,0	3	9,4	11	34,4	13	40,6	5	15,6
Canales de distribución	1	3,1	6	18,8	7	21,9	11	34,4	7	21,9
Consumidor o cliente final	0	0,0	10	31,3	5	15,6	14	43,8	3	9,4
Necesidades del mercado	0	0,0	6	18,8	9	28,1	10	31,3	7	21,9
Requerimientos de adaptación (producto)	1	3,1	2	6,3	12	37,5	12	37,5	5	15,6
Contactos	0	0,0	6	18,8	7	21,9	9	28,1	9	28,1

Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de los empresarios exportadores del área metropolitana de Bucaramanga consideran que conocen los requisitos de entrada para sus productos en los mercados destino. Es por tanto evidente que se han dedicado esfuerzos y recursos para adquirir conocimientos que lleve a cumplir con los requerimientos de acceso a los mercados a los cuales se exporta.

No se tiene buen conocimiento de la competencia en los mercados en los que se hace presencia, hecho que se puede interpretar como falta de profundización respecto a información sobre las características de los mercados destino de sus exportaciones. Es por tanto, recomendable a las empresas exportadoras del AMB, que hagan mayores esfuerzos para tener conocimientos más profundos sobre sus competidores.

Con relación al conocimiento que poseen los empresarios exportadores sobre la estructura de precios (elementos que configuran el precio de un producto para la exportación), el 16% de las empresas exportadoras expresa que es muy alto y el 41% lo considera alto. Dentro del actual esquema de globalización, una de las variables fundamentales para competir en los mercados externos está basada en el precio del producto. El 43% de las empresas (34% medio y 9%) no tienen conocimiento alto de la estructura de precios, y por tanto no están basando su estrategia de permanencia en el mercado destino en dicha variable.

El 66% de las empresas conoce con un nivel elevado las características de los canales de distribución que se emplean en los mercados destino; el 44% conocimientos menos profundos sobre dichos aspectos.

El conocimiento de las características del consumidor final, es importante para las empresas exportadoras, porque sirve de guía para adecuar el producto a dichas exigencias y garantizar permanencia en el mercado. Aproximadamente la mitad de las empresas tienen conocimiento alto o muy alto sobre este aspecto, el resto no tiene un conocimiento amplio de las características y exigencias de los consumidores finales de sus productos, lo que evidencia que en general no se elabora el producto pensando específicamente en el cliente, ni hace esfuerzos por conocer las apreciaciones de los clientes finales sobre la calidad y características de su producto.

Integrando los aspectos de conocimiento de las necesidades del mercado y las características del consumidor final, se evidencia que aproximadamente la mitad de las empresas exportadoras del área metropolitana de Bucaramanga hacen esfuerzos y dedican recursos para adquirir dicho conocimiento, o lo adquieren directamente de la experiencia a través de la presencia en el mercado exterior.

Entre tanto, aproximadamente otro 50% no ha logrado adquirir los conocimientos específicos del mercado destino y del consumidor final, ya sea por el poco tiempo de permanencia en dicho mercado o porque no se han destinado los recursos y esfuerzos para profundizar en dicho conocimiento y por tanto, tampoco conocen las adecuaciones que requieren sus productos para asegurar un posicionamiento sostenible en los mercados con los que exporta.

Para el establecimiento de negocios con los países externos, es necesario tener contactos y amplio conocimiento de estos, para que las negociaciones sean más efectivas. En ese sentido, el 58% de los empresarios considera que tienen conocimientos altos de los contactos en el mercado exterior. Preocupa el hecho de que el 19% de los empresarios exportadores tiene un conocimiento bajo de los contactos en el exterior, por lo que se les dificultará un poco más establecer negociaciones directas en mercados externos.

Principales obstáculos para la internacionalización

En el proceso de internacionalización de las economías y de las empresas intervienen muchos factores internos y externos. Dichos factores, si no actúan de manera favorable para facilitar la internacionalización de las empresas, pueden convertirse en obstáculos.

Obstáculos internos a la empresa en la internacionalización

Los empresarios consideran como principales obstáculos internos para los procesos de consolidación de la internacionalización, la fijación de precios en los mercados internacionales y la capacidad de producción. En los escenarios actuales de globalización uno de los factores de competitividad radica en los precios del producto. Casi todas las empresas exportadoras del AMB tienen poca capacidad de producción y, por tanto, bajos volúmenes de exportación.

Consideran también los empresarios un obstáculo importante, la adecuación de productos a las exigencias del mercado destino y el control de la logística que en casi todos los casos se deja en manos de comercializadoras y transportadoras internacionales de carga. Se identifica además, la competitividad de productos o servicios, y la debilidad en el análisis de la información del mercado. Estos elementos van articulados, ya que todos ello se va a reflejar en el precio del producto y en la aceptación por parte del consumidor.

Otro grupo de obstáculos son los recursos financieros para la ampliación; la falta de un plan estratégico y el capital de trabajo que en algunos casos impiden que las empresas crezcan en tamaño y en producción. En la misma escala, se ubican aspectos de manejo de lenguas extranjeras para hacer más fluida la comunicación con otros países y la capacidad de personal en mercadeo, que se puede asociar con la necesidad de formación en aspectos de comercio exterior.

Se encuentran como obstáculos menores la diferenciación del producto (en precio, promoción y distribución), desconocimiento de aspectos legales en los contratos internacionales, desconocimiento del costo real del producto y aspectos gerenciales.

Tabla 10. *Valoración de obstáculos internos que afectan la internacionalización de las empresas del AMB*

	Muy bajo obstáculo		Bajo obstáculo		Medio obstáculo		Alto obstáculo		Muy alto obstáculo	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Fijación de precios en los mercados	5	15,6	8	25,00	7	21,9	9	28,1	3	9,4
Capacidad de producción	11	34,4	7	21,88	6	18,8	7	21,9	1	3,1
Adecuación de productos a exigencias de mercado	14	43,8	7	21,88	2	6,3	4	12,5	5	15,6
Control de la logística	14	43,8	4	12,50	10	31,3	3	9,4	1	3,1
Competitividad de productos o servicios	13	43,3	5	16,67	9	30,0	1	3,3	2	6,7
Debilidad en el análisis de la información de mercados	13	41,9	7	22,58	6	19,4	4	12,9	1	3,2
Recursos financieros para ampliación	15	48,4	3	9,68	8	25,8	5	16,1	0	0,0
Falta de plan estratégico	14	46,7	6	20,00	8	26,7	1	3,3	1	3,3

	Muy bajo obstáculo		Bajo obstáculo		Medio obstáculo		Alto obstáculo		Muy alto obstáculo	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Manejo de lenguas extranjeras	17	53,1	8	25,00	2	6,3	2	6,3	3	9,4
Capital de trabajo	17	53,1	6	18,75	4	12,5	5	15,6	0	0,0
Capacidad de personal en mercadeo	14	45,2	11	35,48	4	12,9	2	6,5	0	0,0
Diferenciación en el producto, precio, promoción y distribución según mercados	14	45,2	9	29,03	7	22,6	1	3,2	0	0,0
Necesidad de formación (comercio exterior)	17	56,7	5	16,67	6	20,0	1	3,3	1	3,3
Desconocimiento de los aspectos legales de los contratos internacionales	15	53,6	8	28,57	3	10,7	1	3,6	1	3,6
Desconocimiento del costo real unitario del producto	19	61,3	8	25,81	2	6,5	2	6,5	0	0,0
Recursos gerenciales	20	66,7	7	23,33	2	6,7	1	3,3	0	0,0

Fuente: Elaboración propia.

Algunos sectores se han visto afectados por la entrada de productos manufacturados provenientes de Asia, con precios demasiado bajos, lo que influye para que pierdan espacio y competitividad en los destinos a los cuales exportan. Uno de los elementos claves en la competitividad de sectores manufactureros es el precio.

Algunas empresas consideran que pueden ampliar su proceso de internacionalización con mayor capacidad de producción. Otras, por el contrario, consideran que no requieren aumentar su producción para la internacionalización. En general son más las empresas que le dan carácter de menor obstáculo, que las que consideran el factor capacidad de producción como alto obstáculo. Este aspecto es muy importante, porque permite visualizar un futuro de mayor producción exportadora; ya que las empresas consideran que tienen las condiciones internas para lograrlo. Desde esa perspectiva es preciso profundizar sobre los que son considerados obstáculos mayores, con el fin de poder hacer propuestas alternativas para superarlos.

Todo proceso de exportación atraviesa la cadena logística que debe ser óptima para asegurar una entrega a tiempo con mínima afectación a los costos del producto. Aunque los costos y las condiciones de transporte son una limitante para los procesos de exportación de las empresas; los exportadores del AMB delegan esta función a los operadores logísticos, motivo por el cual no se considera por parte de todas las empresas como un alto obstáculo.

La mayoría de los empresarios exportadores del AMB consideran que un obstáculo muy bajo o bajo para la internacionalización es la debilidad en el análisis de la información de mercados. Esta variable está asociada a la complejidad de los mercados o a la relación con la distancia psicológica del mercado destino. Esta apreciación puede conducir a diversas interpretaciones: primero, no hay intención de avanzar en el proceso de internacionalización hacia un mayor posicionamiento en el mercado; segundo, se encuentra comodidad en su estado actual; tercero, desconocimiento por parte del empresario exportador, respecto a la importancia de tener información del mercado para elevar el nivel de competitividad de su empresa frente a los competidores.

Para algunas empresas manufactureras la posibilidad de ampliar la empresa y por tanto la capacidad de producción, le permitiría tener más ventajas en los mercados externos. Necesariamente los recursos financieros son indispensables para la expansión internacional de las empresas. La apreciación de los exportadores del AMB se puede interpretar a partir de una escasa visión exportadora, es decir, falta de proyección internacional y de proyectos empresariales de expansión que necesariamente requieren de recursos económicos. Otro factor que contribuye a la explicación de esta calificación es la tradición cultural financiera para los negocios, del empresario santandereano.

La mayoría de empresas considera que la falta de un plan estratégico no ofrece mayor obstáculo en la internacionalización de la empresa. El bajo manejo de lenguas extranjeras es un obstáculo para el proceso de internacionalización. Sin embargo, parece que los empresarios no le dan tanta importancia a este aspecto, ya que los destinos principales de las exportaciones manufactureras del AMB son mercados que tienen similitud en el idioma y por tanto no necesitan manejo de otras lenguas diferentes al español.

La mayoría de las empresas considera que el capital de trabajo es un obstáculo muy bajo (53%) o bajo (19%). Solo el 15% lo considera alto. Con esto se refuerza el planteamiento de falta de mayor proyección internacional de las empresas que actualmente realizan exportaciones, ya que el capital de trabajo se requiere para hacer aumentos en producción y mejoramiento de calidad que conlleve mejorar el desempeño competitivo en los mercados internacionales.

La capacidad de personal en mercadeo no se percibe, según la opinión de los empresarios, como un obstáculo que influya fuertemente en la internacionalización de las empresas manufactureras del AMB. La mayoría de las empresas actúan bajo pedido en las exportaciones y por tanto no emplean personal de mercadeo especializado que exploren mercados externos.

Muy pocas empresas ven la necesidad de formación en comercio exterior, como se ha mencionado anteriormente, no se refleja en las empresas exportadoras la necesidad de contar con personal especializado que coadyuve en la ampliación y exploración de nuevos mercados.

El desconocimiento en aspectos legales para la realización de contratos internacionales, es valorado como un obstáculo muy bajo o bajo por la mayoría de las empresas, esto muestra una la escasa importancia hacia las regulaciones, que ejercen una influencia determinante en la realización de intercambios internacionales.

El empresario considera el requerimiento de capitales para búsqueda de nuevos mercados, para el establecimiento de departamentos de comercio exterior, para la contratación y formación de personal especializado como un gasto y no como un inversión.

El empresario no le da la verdadera importancia que el costo del producto tiene dentro del ambiente competitivo internacional. Esto deja ver que no tiene un panorama de sus competidores; ni planea disminución de costos reales del producto para ganar posicionamiento en los mercados.

Dentro de las actuales corrientes explicativas sobre el comercio internacional, la decisión gerencial es factor clave en la internacionalización; sin embargo, para los empresarios del AMB esta variable inherente a la dinámica de los negocios es irrelevante.

Obstáculos externos a la empresa en la internacionalización

Dentro de los aspectos externos a la empresa como obstáculos para la internacionalización, los empresarios exportadores del AMB calificaron como principal, la variabilidad de las tasas de cambio. Los negocios con mercados externos se hacen generalmente en dólares. Las fluctuaciones de esta moneda han ocasionado desventajas en los empresarios exportadores. La tendencia general ha sido la revaluación del peso frente a monedas extranjeras, especialmente frente al dólar, lo que ha hecho que las empresas que exportan reciban menos pesos por sus productos, al momento de hacer el cambio de moneda.

Se califica en segundo orden, a las necesidades de información de mercados y en tercer lugar las barreras no arancelarias del país. Lo an-

terior se asocia con los certificados y normas de calidad que cada vez se imponen más en mercados internacionales. En cuarto lugar se cataloga el acceso a contactos en mercados externos que como se vio en anteriores items, es un elemento considerado estratégico para establecer negocios internacionales.

La infraestructura externa relacionada con la calidad de vías y la facilidad de salida de productos de la región se ubica en el quinto lugar, de hecho es un factor neurálgico para las exportaciones de la región. En el sexto lugar se ubican las barreras arancelarias seguido del acceso a canales de distribución externo y de acceso al crédito para financiar operaciones internacionales. En noveno lugar los empresarios consideran la logística de distribución para hacer llegar el producto a su destino final y en décimo lugar los trámites de exportación.

Tabla 11. *Valoración de obstáculos externos que afectan la internacionalización de las empresas del AMB*

	Muy bajo obstáculo		Bajo obstáculo		Obstáculo medio		Alto obstáculo		Muy alto obstáculo	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Variabilidad de las tasas de cambio	2	6,3	3	9,4	4	12,5	6	18,8	17	53,1
Necesidades de información de mercados	7	21,9	6	18,8	9	28,1	7	21,9	3	9,4
Barreras no arancelarias del país destino	10	32,3	9	29,0	6	19,4	3	9,7	3	9,7
Acceso a contactos en los mercados internacionales	10	32,3	7	22,6	7	22,6	7	22,6	0	0,0
Infraestructura externa	13	44,8	4	13,8	7	24,1	3	10,3	2	6,9

	Muy bajo obstáculo		Bajo obstáculo		Obstáculo medio		Alto obstáculo		Muy alto obstáculo	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Barreras arancelarias	13	40,6	6	18,8	5	15,6	6	18,8	2	6,3
Acceso a canales de distribución externos	14	45,2	6	19,4	4	12,9	5	16,1	2	6,5
Acceso al crédito (financiar operación internacional)	15	48,4	3	9,7	7	22,6	4	12,9	2	6,5
Logística de distribución	15	48,4	6	19,4	7	22,6	2	6,5	1	3,2
Trámites de exportación	17	53,1	8	25,0	3	9,4	3	9,4	1	3,1

Fuente: Elaboración propia.

Las tasas de cambio han sido un obstáculo que ha influido en el proceso de internacionalización de las empresas del AMB, ya que en los años 2008 - 2010 la fluctuación de la tasa de cambio y la revaluación del peso frente al dólar ha afectado a los empresarios exportadores del AMB, puesto que reciben menos pesos por producto al hacer el cambio monetario.

Se rescata que una parte de los empresarios considera que la información de mercados externos es fundamental para establecer negocios internacionales. No obstante, se mantiene la preocupación de un alto porcentaje (69%) no le da la real importancia a esta variable.

Las barreras no arancelarias son vistas como muy alto obstáculo para el 10% de las empresas exportadoras manufactureras del AMB, en su proceso de internacionalización, para otro 10% es un alto obstáculo. Dentro de las barreras no arancelarias están las normas de calidad y certificados ambientales, de seguridad industrial, que exigen algunos mercados. Entre más desarrollado sea el país destino más exigencias pre-

senta. En contraste el 61% de las empresas considera que es un muy bajo obstáculo. Es un hecho real que estas barreras son de vital importancia para el empresario que desea hacer exportaciones; el no cumplirlas implica la salida de los productos de los mercados internacionales o el impedimento para ingresar. Pareciera que el empresario desconoce estos aspectos esenciales en el establecimiento de relaciones comerciales con el exterior y se ha acostumbrado a mantenerse en mercados cercanos y de bajas exigencias.

El acceso a contactos en mercados internacionales es considerado un alto obstáculo para el 22% de las empresas manufactureras del AMB. El mismo porcentaje de empresarios lo cataloga como obstáculo bajo y el 32% muy bajo obstáculo. Esta valoración da a entender que se mantienen unos nichos de mercado establecidos y que por ende no se requieren mayores esfuerzos para establecer nuevos contactos.

Aunque se sabe que la infraestructura disponible para sacar los productos de la región a los puertos no es la mejor y que en ocasiones afecta las exportaciones más de la mitad de los empresarios no lo consideran un gran obstáculo. Esta apreciación es contradictoria con la posición generalizada de los gremios de los sectores productivos de la región que han sido muy enfáticos en exigir del Gobierno mayor inversión y agilidad en los proyectos que conlleven al mejoramiento de la infraestructura vial, portuaria y aeroportuaria.

Los principales mercados destinos son países cercanos psicológicamente y geográficamente, que no tienen mayores exigencias para los productos colombianos y en dichos mercados es donde se tiene la experiencia exportadora; se desconocen las exigencias en términos de barreras arancelarias de otros mercados más especializados, debe ser por este hecho, que no es considerado como un gran obstáculo por los exportadores. En el mismo sentido se da la opinión respecto al acceso a canales de distribución. Esta apreciación refuerza el desconocimiento a operaciones internacionales a mercados más distantes y desarrollados, que exigen mayores esfuerzos en la comercialización internacional.

El 60% de los empresarios exportadores no le da alta importancia al acceso a créditos para financiar operaciones internacionales, hecho que

refleja una vez más la falta de proyectos de internacionalización por parte de las empresas y de falta de agresividad para lograr mayor posicionamiento en los mercados actuales e incursionar en nuevos mercados.

De acuerdo con la opinión de los empresarios exportadores del AMB la logística de distribución no se convierte en obstáculo fuerte para la internacionalización. Esta ponderación se asocia con el control de la logística en la que el empresario tampoco le da alta importancia a esta variable. Se puede deducir que el empresario está acostumbrado a las condiciones actuales, realiza exportaciones preferentemente a países cercanos y para el proceso de distribución logística se apoya en las comercializadoras internacionales.

Para el 78% es un obstáculo bajo o muy bajo los trámites de exportación, que varían en relación con el mercado destino al cual vaya dirigido el producto. Esto deja ver un desconocimiento a fondo de la parte esencial de los procesos de internacionalización por parte de los empresarios. Los trámites que se requieren para exportar son diversos y en algunos casos dispendiosos; parece que los empresarios exportadores desconocen estos procesos o no le dan la verdadera importancia.

Aspectos de mejoramiento de la empresa para facilitar procesos de internacionalización

Los empresarios dan mayor importancia a aspectos relacionados con la producción que conduzcan a disminución de costos; elementos que son factores empresariales. Entre los principales aspectos que los empresarios exportadores del AMB consideran que se deben mejorar para potenciar la empresa para la internacionalización está la disminución de costos de producción.

Consideran también que requieren disminuir los costos de producción para tener más ventajas en la internacionalización. De hecho, los avances actuales de las economías emergentes han estado fundamentadas entre otros factores en la disminución de los costos de producción. También está entre los primeros aspectos mejorar la capacidad disponible en producción, ya que los volúmenes de producción y de exporta-

ción son generalmente bajos. Estos elementos se pueden integrar con las mejoras en productividad.

En un segundo lugar de importancia de destacan aspectos de gestión empresarial. Los empresarios resaltan entre los principales aspectos el mejorar las alianzas productivas con clientes en el exterior y las alianzas productivas locales. Se percibe una debilidad en este aspecto, que a juicio de los exportadores, es un elemento que puede potenciar las ventas en el mercado externo.

En tercer nivel se ponderan aspectos relacionados con el recurso humano con el que cuenta la empresa para el proceso de internacionalización. Los empresarios resaltan que se requiere la formación en aspectos de comercio exterior y personal calificado en mercadeo (internacional).

En últimos lugares, se ubican aspectos relacionados con la administración y la gerencia como sistemas de información gerenciales (para la toma de decisiones); control de la logística de distribución, estructura administrativa acorde a la estrategia de la empresa y disponibilidad de la gerencia con el compromiso internacional.

Tabla 12. Aspectos que debe potenciar la empresa para la internacionalización

	Ningún mejora- miento		Bajo mejora- miento		Medio mejora- miento		Alto mejora- miento		Muy alto mejora- miento	
	No	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Capacidad disponible en producción	4	12,5	6	18,8	8	25,0	10	31,3	4	12,5
Personal calificado en mercadeo	8	25,8	5	16,1	9	29,0	7	22,6	2	6,5
Disponibilidad de la gerencia (compromiso internacional)	15	46,9	5	15,6	5	15,6	6	18,8	1	3,1

Disponibilidad de recursos financieros	8	25,8	1	3,2	14	45,2	4	12,9	4	12,9
Mejoras de productividad	9	28,1	3	9,4	7	21,9	11	34,4	2	6,3
Estructura administrativa acorde a la estrategia de la empresa	14	43,8	6	18,8	6	18,8	3	9,4	3	9,4
Control de la logística de distribución	10	31,3	6	18,8	11	34,4	2	6,3	3	9,4
Formación en aspectos de comercio exterior	8	25,0	5	15,6	12	37,5	5	15,6	2	6,3
Sistemas de información gerenciales	9	29,0	5	16,1	12	38,7	3	9,7	2	6,5
Adaptación del producto	9	28,1	6	18,8	13	40,6	3	9,4	1	3,1
Alianzas productivas clientes en el exterior	4	12,5	5	15,6	7	21,9	13	40,6	3	9,4
Alianzas productivas locales	6	18,8	5	15,6	8	25,0	10	31,3	3	9,4
Disminución costos de producción	2	6,5	3	9,7	5	16,1	13	41,9	8	25,8

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los factores de la competitividad en los productos manufacturados se basa en el precio del producto. Cada vez son más los países que inundan los mercados con productos de muy bajo costo. Cobra más importancia este factor, cuando la competitividad no está basada en otros aspectos, como la innovación del producto o la diferenciación, como es el caso de la industria exportable del área metropolitana de Bucaramanga. Hay otro aspecto que es muy evidente para la industria de

Bucaramanga, que afecta los costos del producto como es el aspecto del transporte derivado principalmente por las características de la infraestructura vial de la región y del país en general.

Por tanto, la principal estrategia de mejoramiento empresarial para hacer más competitivos los productos en los mercados internacionales está en el aumento de la productividad, que influye directamente en la disminución de los costos con esquemas de mejoras tecnológicas, eficiencia en la utilización de insumos, utilización de sistemas de contratación flexible, alianzas estratégicas con proveedores, economías de escala y otros.

El 50% de los empresarios exportadores del AMB consideran que las alianzas productivas con clientes en el exterior requieren de un muy alto y alto mejoramiento. Esto evidencia que los empresarios consideran factor clave para la internacionalización establecer relaciones con clientes en el exterior que ayuden al aumento o fomento de las exportaciones y que posibiliten la diversificación de mercados. En general, las estrategias sobre este aspecto deben encausarse a aumentar los contactos externos, que posteriormente se traduzcan en pedidos para la exportación de productos.

La capacidad disponible en producción requiere muy alto mejoramiento para un tercio de las empresas. El hecho de mejorar la capacidad disponible en producción lleva a que aumente la oferta de productos.

El 40% de las empresas exportadoras de Santander consideran que se requiere un mejoramiento muy alto o alto en el establecimiento de alianzas productivas locales, que otorgue mejores oportunidades a la internacionalización. Estas alianzas pueden estar dirigidas a las áreas de producción, de comercialización o a hacer más efectivas las sinergias entre la cadena productiva.

Aunque la disponibilidad de recursos financieros es un factor con mayor carácter externo que interno a la empresa, los empresarios exportadores del AMB consideran que es un aspecto que se requiere mejorar para potenciar la internacionalización. En otro aparte del estudio fue catalogado como un obstáculo bajo.

La productividad es uno de los conceptos que más se ha relacionado con la competitividad y es uno de los factores claves en el sector manufacturero. Además tiene incidencias directas y fuertes en el precio y en la calidad de los productos que se exportan. El 40% considera que se requiere un muy alto o alto mejoramiento en la productividad para la internacionalización más competitiva.

Son más las empresas que consideran que no se requiere ningún mejoramiento, o un mejoramiento bajo en personal calificado en mercadeo que las empresas que manifiestan que se requieren mejoramientos altos o muy altos en este factor, el personal especializado en mercadeo internacional, se encarga de hacer los contactos en el exterior y de imprimir estrategias de negociación adecuadas para las exportaciones.

Son pocas las empresas que consideran que se requieren mejoramientos altos en sistemas de información gerenciales para aumentar la internacionalización; el 45% considera que se necesita un mejoramiento bajo o ningún mejoramiento en este aspecto. Se aprecia que los empresarios no le otorgan la debida importancia al acceso a la información disponible de forma oportuna para la toma de decisiones dentro de los esquemas actuales de negociación internacional.

Se aprecia un alto desconocimiento de los empresarios hacia la innovación y hacia las tendencias del mercado global, que cada vez impone nuevos productos con alto valor agregado, ya que son pocas las empresas que consideran que la adaptación del producto conlleva la potenciación de la internacionalización de las empresas del AMB.

El 44% de los empresarios exportadores del AMB expresan que no se requiere ningún mejoramiento en la estructura administrativa de la empresa, de acuerdo con los propósitos de internacionalización que ayuden a potenciar esta acción. El 18% considera que se debe generar un mejoramiento muy alto o alto.

La apreciación sobre el compromiso gerencial y la estructura administrativa refleja en los empresarios la baja importancia dada a las tecnologías blandas en los esquemas productivos. Es evidente el impacto que estas tecnologías tienen en las transformaciones empresariales para responder a los requerimientos de la globalización.

Conclusiones

Se aprecian varias contradicciones en las opiniones y apreciaciones de los empresarios, tanto en aspectos internos como externos a la empresa que inciden en la productividad y competitividad de estas. Los empresarios no reflejan, con sus percepciones, la verdadera realidad de la situación empresarial del AMB frente a la internacionalización. Por la valoración asignada a las variables consideradas, pareciese que se está en una situación muy buena y cómoda, respecto a la competencia y al posicionamiento en los mercados internacionales y que no se requieren mayores acciones de mejoramiento en el interior de las empresas para atender y lograr mayor consolidación en los espacios externos.

Se refleja en las opiniones expresadas por los empresarios la baja intención hacia el mejoramiento, hacia la proyección internacional, hechos que se pueden convertir en el mayor obstáculo para la internacionalización empresarial. La mentalidad empresarial colectiva no se direcciona hacia la proyección internacional. Frente a un entorno global tan exigente y complejo, se observa una actitud de tranquilidad que no permite visualizar un liderazgo efectivo ante los grandes retos que enfrenta la producción regional, especialmente porque los empresarios no han implementado, dentro de sus prácticas cotidianas, un análisis de las principales variables que inciden en su posicionamiento competitivo en los mercados externos.

De otra parte, los empresarios santandereanos no valoran la verdadera importancia que el conocimiento y la información tienen para la operación de los negocios internacionales. Son muy escasos los casos en los que se observa alguna preocupación por ponerse al día en términos de eficiencia tecnológica o de utilización de los canales e instrumentos de innovación relacionados con las tecnologías de la información para incursionar en los mercados externos. La perspectiva global está ausente de la mayoría de las estrategias productivas propuestas por los empresarios y, lo que resulta más preocupante, no existe en el horizonte cercano interés por considerar las posibilidades y amenazas que genera la situación mundial. A nivel gerencial, si bien es cierto, se reconocen las nuevas dinámicas de la economía relacionadas con los procesos de

globalización, existe una percepción casi generalizada respecto a que las pequeñas empresas pueden sobrevivir utilizando los mismos esquemas convencionales que reducían su actuación a los mercados locales o nacionales. Lo anterior demuestra que los empresarios exportadores del AMB no tienen en mente una planeación hacia una mayor proyección internacional.

Los resultados obtenidos en el proceso de investigación representan un argumento de peso para insistir en la necesidad imperiosa de implementar en la región, procesos formativos que acerquen a los empresarios a las nuevas realidades del contexto internacional, de tal forma que reconozcan las variables que pueden incidir en el éxito de sus estrategias productivas e inicien ejercicios de incursión en los mercados externos.

Referencias

- Arteaga, J. and Fernández, R. (2010). Why Don't We Use the Same Export Barrier Measurement Scale? An Empirical Analysis in Small and Medium-Sized Enterprises. *Journal of Small Business Management*, (48), 395-420.
- Belso, J. (2003). Un análisis del proceso de internacionalización de las pequeñas y medianas empresas en la comunidad valenciana: un modelo gradual versus acelerado. *Revista Valenciana de Economía y Hacienda*, (8), 191-209.
- Calle, A., y Tamayo, V. (2005). Estrategia e internacionalización en las pymes caso Antioquia. *Cuadernos de Administración*, 18(30), 137-164.
- Cardona, R. (2015). Internacionalización acelerada por las firmas de nueva o reciente creación versus el modelo incremental seguido por empresas maduras. En *Forum Doctoral*, 6. Eafit.
- Echeverry, R., Medina, J., & Silva, T. (2013). El desarrollo local desde una perspectiva sociocultural de la competitividad. *Cuadernos de Administración*, 29(49), 45-54. Universidad del Valle.
- Escolano, C., y Belso, J. (2003). La influencia del factor humano en los procesos de internacionalización y crecimiento exterior de las empresas. *Boletín Económico del ICE*, No. 2766, 41-51.
- Eusebio, R., & Llonch Andreu, J. (2006). Los determinantes de la intensidad exportadora: un análisis comparativo entre empresas españolas e italianas del sector textil-confección. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, (26), 95-122.

- Fernández, R., y Castresana, J. (2005). Capacidades directivas y aprendizaje en las pymes exportadoras. *Cuadernos de Gestión*, 5(2), 75-94.
- Freyle, A. (2010). Las MiPymes colombianas, escenario estratégico para la creatividad e innovación del talento humano. *Escenarios*, 8(2), 31-39.
- Gómez, E., González, G. (2011). Proceso de internacionalización de empresas del área Metropolitana de Bucaramanga. *Revista Lebre*, (3), 57-81.
- Gómez, H., Botiva, M., & Guerra, A. (2010). *Institucionalidad y estrategias para el desarrollo exportador y la innovación en Colombia: diagnóstico inicial*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Leonidou, L.C. (2004). An analysis of the barriers hindering small business export development. *Journal of Small Business Management*, 42(3), 279-302.
- Leonidou, L., Katsikeas, C., Palihawadana, D y Spyropoulou, S. (2007). An analytical review of the factors stimulating smaller firms to export: Implications for policy-makers. *International Marketing Review*, 6(24), 735-770.
- López, J. (2006). La internacionalización de la empresa manufacturera española: efectos del capital humano genérico y específico. *Cuadernos de Gestión*, 6(1), 11-24.
- Moguillansky, G. (2012). *Comisiones y consejos nacionales de competitividad: Aunando los intereses público y privado en Colombia y República Dominicana*. Inter-American Development Bank.
- Pla, J., y Cobos, A. (2002). La aceleración del proceso de internacionalización de la empresa: el caso de las New Ventures españolas. *Información Comercial Española*, (802), 9-22.
- Reina, M. (2010). *Internacionalización de la economía colombiana: comercio e inversión*. Bogotá: CAF, BID.
- Suárez, S., Olivares, A., y Galván, I. (2002). La expansión de los mercados del exterior y el tamaño empresarial: el caso de las empresas exportadoras canarias. *Información Comercial Española* (802), 83-97.
- Sigala, L., & Martínez, M. (2011). Velocidad en el proceso de internacionalización de las empresas: revisión de teorías divergentes. *Compendium: Revista de Investigación Científica*, (26), 61-80.

Determinación del dinamismo competitivo de sectores exportadores de Santander¹

Edgar Javier Gómez Parada

*Grupo de investigación Integración y Globalización de los Negocios. Facultad de
Negocios Internacionales Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga
Correo electrónico: edgar.gomez01@ustabuca.edu.co*

Introducción

La competitividad es un término con múltiples interpretaciones, que en algunos casos varía según la dimensión por analizar, país, región (Bernal y Laverde, 1995) o sector industrial (Bejarano, 1998) y el enfoque endógeno (en el interior de las empresas) Solleiro (2005) o exógeno según el entorno en el que se desarrolla (Porter, 1996). Los resultados del desempeño empresarial se evidencian en el posicionamiento y comportamiento del mercado ya sea nacional o internacional y están directamente relacionados con la competitividad.

Existen diversas propuestas de indicadores de dinamismo comercial; los más utilizados son los de Balanza Comercial Relativa y Ventaja com-

1. El capítulo presenta resultados de la investigación “Determinación del posicionamiento competitivo de sectores de Santander mediante el uso de indicadores de comercio exterior y política comercial” desarrollada por el grupo de investigación Integración y Globalización de los Negocios de la Facultad de Negocios Internacionales, Universidad Santo Tomás Bucaramanga.

parativa revelada. A partir de algunos de dichos indicadores propuestos en la literatura compilados por Durán y Álvarez (2008), se analiza el desempeño de los principales sectores exportadores de Santander para identificar la tendencia exportadora y su desempeño en el principal mercado de exportación del departamento: Estados Unidos.

No se evidencian trabajos investigativos que muestren la aplicación de los indicadores de dinamismo comercial relacionados con las ventajas comparativas reveladas para sectores exportadores del departamento de Santander, ni la utilización de estos indicadores para interpretar el comportamiento de la oferta exportable de la región en mercados externos. Por tanto, la investigación de la cual deriva este manuscrito tenía doble propósito, por un lado verificar la aplicabilidad de la familia de indicadores de ventaja comparativa revelada a nivel regional, y como segundo, a partir de dichos indicadores interpretar el comportamiento de los sectores exportadores. Se destaca entre otros aspectos, que para tener una visión completa de la competitividad de los sectores, no basta con los datos que arrojan los indicadores aplicados, sino que se deben incluir otras variables tanto cuantitativas como cualitativas.

En el presente documento inicialmente se hace un resumen de la revisión de literatura sobre ventajas comparativas y competitividad; luego se analiza el comportamiento exportador del departamento de Santander por capítulos del arancel de aduanas, para, con base en dicho comportamiento seleccionar la oferta exportable. Se toman como canasta exportable los primeros 12 capítulos arancelarios, de acuerdo con la participación y a la dinámica exportadora entre los años 2006 - 2011.

Para los sectores seleccionados, se utiliza el indicador de Balanza Comercial Relativa para determinar la tendencia hacia el comercio internacional de cada sector. Posteriormente, se determina la Balanza Comercial Relativa de cada sector respecto al mercado de Estados Unidos, que fue el primer país destino de las exportaciones de Santander en el 2011; se complementa con los indicadores de ventaja comparativa revelada e índice de Balassa aplicados también al mercado de Estados Unidos.

Los resultados del estudio cobran importancia para el sector académico, empresarial y gubernamental. Para el sector académico, por un

lado porque muestra la aplicabilidad de los indicadores y abre un nuevo campo de estudio por cuanto no se ha avanzado en ese sentido al igual que confrontar las estrategias actuales con el posicionamiento competitivo real de cada sector. Para el sector gubernamental nacional y regional se convierte en una herramienta fundamental en el proceso de toma de decisiones de políticas y programas de desarrollo de apoyo a las empresas, a la generación de empleo y a la internacionalización. Los sectores exportadores de Santander pueden utilizar la información de los resultados del proyecto para conocer la posición real dentro del conjunto de exportadores y la posición en los distintos mercados.

Revisión de literatura

Uno de los principios fundamentales sobre los que se basan las teorías del comercio internacional proviene de la propuesta de ventajas comparativas de David Ricardo, donde planteaba que la dinámica del comercio entre dos países proviene de la especialización que cada uno de ellos adquiera en la producción de un bien, y que dicha especialización proviene del factor trabajo (mano de obra) que se refleja en la productividad (Barrientos, 2012). Es decir, que las regiones se especializan en producir aquellos bienes en los que tienen mayores ventajas, hasta el punto que pueden exportar dichos bienes y no se dedican a producir aquellos bienes en los que tienen desventajas productivas y por lo tanto los importan. Esto hace que exista una diferencia entre los costos de producción de un mismo bien entre regiones, lo que posibilita el intercambio comercial internacional (Pérez, 2006).

Las ventajas comparativas aparecen para el producto cuyos costos de oportunidad en un país son menores y por lo tanto le va a permitir acceder al intercambio internacional mediante la especialización productiva en dicho bien, que generalmente proviene de ventajas en la mano de obra y productividad (Barrientos, 2012).

En la teoría de la ventaja comparativa de Ricardo, la especialización proviene de un factor de producción que es la mano de obra. Más adelante Heckscher-Ohlin propone un modelo de ventaja comparativa donde incluye otro factor de producción, el capital. Estos dos factores no son móviles entre los países (Tugores, 2006).

De acuerdo con Barrientos (2012), aun cuando dos países tengan acceso a la misma forma de producción, proveniente de la combinación de los dos factores de producción con el acceso a recursos naturales, pueden presentar diferencias en la intensidad de acceso a los factores, y en las cantidades de disposición de cada factor que puede hacerlos más baratos en unos países que en otros. Por tanto, la ventaja comparativa se obtiene para aquellos bienes que utilizan con mayor intensidad los recursos que son más abundantes y logrará en esos sectores mayor especialización. En el intercambio comercial entre países, exportará el producto quien tiene mayor abundancia en los factores e importa aquellos donde alguno de los factores de producción escasea.

De acuerdo con estas teorías el comercio entre países se debería dar en sectores industriales diferentes, pero realmente en el comercio internacional desde hace varios años se ha dado el intercambio de bienes del mismo sector industrial entre países con dotación de recursos similares. Esto hace que se requiera introducir nuevos elementos para dar explicación a estas formas de intercambio y entender que el comercio internacional se da más a nivel de firmas (comercio intraindustrial) que a nivel de países.

Aunque existe un amplio intercambio de bienes y servicios en el contexto internacional, actualmente entran en juego otras variables que inciden en los precios y en el flujo de mercancías, como el transporte, costos de transacción, las políticas cambiarias, los cambios y la incorporación de tecnología. Estos aspectos llevan a cuestionar la teoría de la ventaja comparativa, aunque aceptan la base de la especialización productiva (Mayorga y Martínez, 2008), o a ampliar las fuentes de las ventajas comparativas en otros elementos como la tecnología, la localización geográfica y la innovación. Aparece entonces el concepto de ventaja competitiva o competitividad para fortalecer el fundamento de la especialización productiva. Existen diversos conceptos de competitividad, entre los que se pueden distinguir enfoques a nivel de países (naciones) y a nivel empresarial (firmas).

Para Chesnais (1981) la competitividad es la capacidad de un país de exportar y vender en los mercados externos, así como de defender su mercado doméstico de la penetración de las importaciones.

En el mismo sentido Fagerberg (1988) considera la competitividad como la capacidad de un país de lograr objetivos fundamentales de la política económica, tales como el crecimiento en el ingreso y el empleo, sin incurrir en dificultades en la balanza de pagos.

Según Fajnzylber (1988) la competitividad es la capacidad de un país de sostener y expandir su participación en los mercados internacionales y elevar simultáneamente el nivel de vida de su población. Esto exige el incremento de la productividad para lo cual se requiere la incorporación del componente tecnológico. Esto exige y conlleva una modernización del aparato productivo.

Otro de los principales aportes recientes proviene de Porter (1991) que considera que la competitividad de una nación proviene de la capacidad que tienen sus industrias de innovar y de mejorar de forma permanente. Es decir, que asigna un peso relativo alto a la innovación entendida como la generación de nuevas tecnologías o nuevos métodos de hacer las cosas. La innovación puede manifestarse en el diseño de un producto nuevo, en el proceso de producción, en la manera de enfocar el mercado, o en un modo diferente de capacitar u organizar.

Para Porter la competitividad en el nivel nacional gira entorno a la productividad y busca generar las condiciones para elevar el nivel de vida de sus ciudadanos. La habilidad para hacerlo depende de la productividad, y esta se vincula con la forma en que las naciones utilicen el capital y el trabajo.

Aspectos metodológicos

Para aplicar los indicadores de la familia de ventaja comparativa revelada se hizo una selección de la oferta exportable de Santander con base en las estadísticas de las exportaciones, utilizando como fuente de información la base de datos DIAN - SIEX que es de acceso libre. Esta selección se hizo con base en la participación en el valor de las exportaciones del 2011 y se tomaron 12 sectores que corresponden a actividades económicas clasificadas a dos dígitos en el arancel armonizado de aduanas, que es un sistema ampliamente utilizado a nivel internacional por los países pertenecientes a la organización mundial de comercio.

Los indicadores seleccionados son:

- Balanza comercial relativa sectorial.
- Balanza comercial relativa sectorial respecto a un mercado (Estados Unidos).
- Índice de ventaja comparativa revelada respecto al mercado de Estados Unidos.
- Índice de Balassa.

Se toma como período de análisis los años 2006 al 2011. Los datos son de la base Sistema Estadístico de Comercio Exterior de Colombia (SIEX), administrado por la DIAN y disponible en <http://websiex.dian.gov.co/>.

Dinámica exportadora del departamento de Santander entre los años 2006 - 2011

El departamento de Santander realizó exportaciones por valor de 633 millones de dólares en el 2011, con un incremento de 127% respecto al año 2006, y del 40% con respecto al año 2010. El sector con mayor participación en las exportaciones del departamento es el de combustibles minerales (capítulo 27), dentro del cual se encuentra el petróleo, con participación de 68,28% en el año 2011 y un incremento de 58,38% respecto al año 2006. Aunque se presentan exportaciones en múltiples sectores, el capítulo 27 concentra gran parte de las exportaciones del departamento y es el que marca el incremento en la variable. En segundo lugar de participación en las exportaciones del departamento se encuentran los productos de café (capítulo 9) con participación del 18%. Entre el capítulo 27 y el capítulo 9, aportan el 86% de las exportaciones del departamento (año 2011), mostrando una alta concentración en las exportaciones en estos dos sectores.

Con relación al comportamiento de los demás capítulos entre el año 2006 - 2011 se pueden hacer algunas consideraciones. En el 2006 el segundo capítulo exportador era el 71 (oro, piedras preciosas) que exportó más de 73 millones de dólares y alcanzó 94 millones de dólares en el

2007; paulatinamente fueron disminuyendo las exportaciones y en el 2011 fueron de medio millón de dólares. Es decir, es un sector que tuvo importancia en las exportaciones de Santander hasta el 2010.

Los capítulos de grasas y aceites animales o vegetales (15) y maquinaria (84) presentaron crecimiento entre el período 2006 - 2011 de más de 185% y 133%, respectivamente, y se mantienen entre los sectores principales en las exportaciones de Santander. Otros sectores con bastante crecimiento entre 2006 - 2011, dentro de los importantes por el valor de las exportaciones, son las materias plásticas (84) con 254%; y cacao (18) con 319%.

Sectores con descenso en las exportaciones entre los años 2006 - 2011, además del ya mencionado capítulo 71, está el de prendas y complementos de vestir de punto (62), con 69% de disminución, y calzado con 14%. Estos sectores son considerados estratégicos para las regiones por la alta cantidad de empleos que generan.

Tabla 1. *Exportaciones de Santander 2006 - 2011 (miles dólares Fob)*

CAP		2006	2007	2008	2009	2010	2011	% Part. 2011	% Var. 2006 - 2011
	TOTAL	278477	477389	615197	678946	448021	633534		127
27	Combustibles minerales, aceites mineral	7285	10787	31304	165951	244277	432616	68,29	5838
9	Café, té, yerba mate y especias	85500	138351	113007	64275	70500	114597	18,09	34
71	Perlas finas o cultivadas, piedras preciosas	73762	94030	58188	50092	30213	573	0,09	-99
29	Productos químicos orgánicos	8742	11654	13006	12377	21186	9226	1,46	6

CAP		2006	2007	2008	2009	2010	2011	% Part. 2011	% Var. 2006 - 2011
87	Vehículos automóviles, tractores	13840	20116	19562	23525	19308	14370	2,27	4
15	Grasas y aceites animales o vegetales	3316	2611	4915	6113	13926	9452	1,49	185
84	Máquinas	4796	8861	11338	13459	8337	11154	1,76	133
62	Prendas y complementos de vestir, excepto las de punto	20455	27531	22245	9474	7031	6440	1,02	-69
39	Materias plásticas	1179	2605	2870	3755	5531	4171	0,66	254
64	Calzado	7411	13637	11401	7005	3848	6395	1,01	-14
18	Cacao y sus preparaciones	349	76	156	1801	3681	1464	0,23	319
61	Prendas y complementos de vestir, de punto	5161	9844	8428	4407	3628	4180	0,66	-19
2	Carnes y despojos comestibles	3183	80406	204011	253612	2240	2398	0,38	-25
24	Tabaco y sucedáneos	4031	3067	4933	4364	2068	1009	0,16	-75
60	Tejidos de punto	1985	1849	2580	1745	1629	2056	0,32	4
8	Frutos comestibles; cortezas de agrios	1132	1875	1249	1055	1215	776	0,12	-31
85	Máquinas, aparatos y material eléctrico	157	227	551	3266	1162	1090	0,17	594

CAAP		2006	2007	2008	2009	2010	2011	% Part. 2011	% Var. 2006 - 2011
56	Guata, fieltro y telas sin tejer	986	943	864	881	1114	1155	0,18	17
74	Cobre y manufacturas de cobre	7458	5619	3369	447	906	332	0,05	-96
83	Manufacturas diversas de metales comunes	354	650	3711	1779	882	682	0,11	93
73	Manufacturas de fundación, de hierro	660	1297	1908	2697	641	2003	0,32	203
20	Preparaciones de legumbres u hortalizas	31	194	363	888	627	851	0,13	2.645
41	Pieles (excepto la peletería) y cueros	99	1572	8520	5390	516	237	0,04	139
54	Filamentos sintéticos o artificiales	829	565	762	774	379	229	0,04	-72
42	Manufacturas de cuero	537	1227	688	289	375	405	0,06	-25
17	Azúcares y artículos de confitería	587	17	253	273	332	534	0,08	-9
55	Fibras sintéticas	118	205	378	169	324	403	0,06	242
38	Productos diversos de las industrias químicas	98	184	615	123	224	208	0,03	112
90	Instrumentos y aparatos de óptica	134	56	120	1442	220	307	0,05	129
63	Los demás artículos textiles confección	573	1073	335	321	206	1028	0,16	79

CAP		2006	2007	2008	2009	2010	2011	% Part. 2011	% Var. 2006 - 2011
94	Muebles	1196	1413	462	43	200	814	0,13	-32
72	Fundición, hierro y acero	1092	1985	1356	100	184		0,00	-100
44	Madera, carbón vegetal y manufacturas	388	973	1920	569	176	233	0,04	-40
96	Manufacturas diversas de metales comunes	416	390	332	255	145	139	0,02	-67

Fuente: Elaboración propia. Fuente de datos: Dian - Siex. <http://www.dian.gov.co>

Estructura exportadora de Santander año 2006

La estructura exportadora del departamento de Santander en el 2006, estaba representada por los aportes de diversos capítulos, sin alta concentración en algunos de ellos. Aunque entre los sectores de café (capítulo 9) y piedras preciosas con las exportaciones de oro (capítulo 71) estaba concentrado el 57% de las exportaciones. Se destacan otros sectores, como prendas de vestir de punto que aportó 7,3%, partes de vehículos automóviles 5% y productos orgánicos 3.1%.

En el 2006 no era tan relevante para las exportaciones del departamento el sector de combustibles minerales que participó con 2,6% y estaba al mismo nivel de calzado (2,7%) y manufacturas de cobre (2,7) respecto al valor de las exportaciones.

Además aportaron a las exportaciones del departamento en el 2006 de manera significativa los sectores de prendas de vestir de punto, máquinas, tabacos, grasas y aceites, carnes y tejidos de punto. En la siguiente tabla se detalla la participación de cada uno de ellos.

Tabla 2. *Estructura exportadora de Santander año 2006*
(Valor en miles dólares FOB)

CAP	Descripción	Valor 2006	% Part.
9	Café	85500	30,7
71	Piedras preciosas	73762	26,5
62	Prendas y complementos de vestir, excepto las de punto	20455	7,3
87	Vehículos automóviles	13840	5,0
29	Productos químicos orgánicos	8742	3,1
74	Cobre y manufacturas de cobre	7458	2,7
64	Calzado	7411	2,7
27	Combustibles minerales	7285	2,6
61	Prendas de vestir de punto	5161	1,9
84	Máquinas	4796	1,7
24	Tabaco y sucedáneos	4031	1,4
15	Grasas y aceites	3316	1,2
2	Carnes y despojos comestibles	3183	1,1
60	Tejidos de punto	1985	0,7
	Otros	10915	3,9
	Total	278477	92,5

Fuente: Elaboración propia. Fuente de datos: Dian - Siex. <http://www.dian.gov.co>

Estructura exportadora de Santander año 2011

En el 2011 las exportaciones del departamento de Santander, fueron jalonadas por el sector de combustibles minerales (petróleo) que aportó 68% en el valor de las exportaciones.

En segundo lugar en participación se encuentra café con 18,1%. Entre estos dos sectores se concentra el 86% del valor de las exportaciones del departamento y los otros sectores participan con valores muy bajos respecto a los ya mencionados.

Se destaca en segundo renglón, los aportes del sector partes de automóviles (87) con 2,3%; máquinas (84) con 1,5%, productos orgánicos con 1,5%; calzado con 1% y el sector confecciones con los capítulos 62 con 1% y 61 con 0,7%. La participación de los demás sectores es muy baja.

Respecto a la estructura de las exportaciones en el 2006, los cambios más significativos se presentan en el gran crecimiento de las exportaciones del capítulo 27 que corresponde a productos de petróleo, y en gran disminución de las exportaciones del capítulo 71 de piedras preciosas donde el producto más representativo del departamento de Santander es el oro. De hecho, el gran crecimiento de los productos de petróleo hace que en general se aprecie un aumento en el global de las exportaciones entre los años 2006 - 2011 y genere algunas distorsiones en las participaciones de los demás sectores. Tal es el caso del sector cafetero que pasó de participar con el 30,4% en el 2006 al 18% en el 2011, pero presenta un aumento en el valor exportado y sigue siendo uno de los sectores líderes en exportaciones en el departamento.

En valor exportado disminuyen entre otros el sector de carnes (capítulo 2) y el sector calzado (cap. 64); se presenta un cambio en las confecciones donde adquiere más importancia las prendas excepto de punto (cap. 62) sobre prendas de punto (cap. 61) con relación al 2006.

Tabla 3. *Estructura exportadora de Santander año 2011*
(Valor en miles de dólares FOB)

CAP	Descripción	Valor 2011	% Part. 2011
27	Combustibles minerales	432616	68,3
9	Café	114597	18,1
87	Vehículos automóviles	14370	2,3
84	Máquinas	11154	1,8
15	Grasas y aceites	9452	1,5
29	Productos químicos orgánicos	9226	1,5
62	Prendas de vestir, excepto de punto	6440	1,0
64	Calzado	6395	1,0
61	Prendas y complementos de vestir, de punto	4180	0,7
39	Materias plásticas	4171	0,7
2	Carnes y despojos comestibles	2398	0,4
60	Tejidos de punto	2056	0,3
73	Manufacturas de fundación, de hierro	2003	0,3
18	Cacao y sus preparaciones	1464	0,2
	Otros	11005	1,9
	Total	633534	99,8

Fuente: Elaboración propia. Fuente de datos: Dian – Siex. <http://www.dian.gov.co>

Del análisis de las exportaciones se definen los sectores estratégicos exportadores de Santander, que se muestran en el tabla 4.

Tabla 4. *Principales sectores estratégicos en las exportaciones de Santander*

Capítulos Arancel	Descripción capítulo
27	Combustibles minerales, aceites minerales y productos de su destilación
9	Café, té, yerba mate y especias
15	Grasas y aceites animales o vegetales
71	Perlas finas o cultivadas, piedras preciosas y semipreciosas o similar
29	Productos químicos orgánicos
87	Vehículos automóviles, tractores, ciclo
84	Reactores nucleares, calderas, máquinas
62	Prendas y complementos de vestir, excepto los de punto
61	Prendas y complementos de vestir, de punto
64	Calzado, polainas, botines, y artículos análogos; partes de estos artículos
39	Materias plásticas y manufacturas plásticas
2	Carnes y despojos comestibles

Fuente: Elaboración propia.

Balanza comercial relativa sectorial

Establece una relación entre la balanza comercial y el intercambio comercial de una región, de un sector o de un producto específico.

La balanza comercial relativa mide la tendencia importadora o exportadora de un producto o un sector; en este caso se aplica a un capítulo del arancel de aduanas. Los valores de este indicador están entre -1 y 1. Cuando el valor se acerca a -1 indica que es un sector donde solo se hacen importaciones. Cuando el valor es 1, o se acerca a 1, significa que

es un sector donde solo se exporta. Los valores intermedios negativos reflejan que son mayores las importaciones que las exportaciones y los valores intermedios positivos, muestran que las exportaciones son mayores que las importaciones. Desde un enfoque competitivo se entiende que tiene más competitividad en la región aquel o aquellos sectores con valores positivos cercanos a 1.

Para el caso de los capítulos arancelarios exportadores de Santander, se calcula de la siguiente forma:

$$BCRs = \frac{(EXP_{CAP} - IMP_{CAP})}{(EXP_{CAP} + IMP_{CAP})}$$

EXP_{CAP} = Exportaciones del capítulo realizadas por Santander

IMP_{CAP} = Importaciones del capítulo realizadas por Santander

Tabla 5. *Índice de balanza comercial relativa sectorial aplicado a capítulos exportadores del departamento de Santander*

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración
27	0,83	0,51	0,54	0,98	0,99	0,99	Muy alta tendencia exportadora, especialmente en 2009, 2010. Aumento de la tendencia exportadora entre 2006 - 2011
9	1	1	1	1	1	0,984	Muy alta tendencia exportadora. Se mantiene la tendencia exportadora entre 2006 - 2011
71	0,98	0,99	0,96	0,97	0,92	-0,53	Alta tendencia exportadora hasta el 2010. En el 2011 la tendencia cambió hacia las importaciones.
29	0,14	0,52	0,78	0,68	0,67	0,05	Tendencia exportadora baja, especialmente en el 2011. Presentó tendencia alta a las exportaciones entre 2007 - 2010.

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración
87	-0,43	-0,39	-0,32	0,03	-0,47	-0,68	Tendencia a las importaciones. Aumento en la tendencia a las importaciones.
15	0,44	0,03	0,24	0,32	0,38	-0,25	Tendencia exportadora media hasta el 2010. En el 2011 se presentó tendencia hacia las importaciones.
84	-0,79	-0,73	-0,74	-0,74	-0,86	-0,82	Alta tendencia a las importaciones. Aumento en la tendencia hacia las importaciones.
62	0,94	0,95	0,98	0,97	0,92	0,74	Muy alta tendencia a las exportaciones. Leve disminución en el 2011.
39	-0,81	-0,74	-0,77	-0,60	-0,54	-0,73	Alta tendencia a las importaciones. Leve disminución de la tendencia a las importaciones entre 2009 - 2011.
64	0,81	0,88	0,83	0,76	0,00	0,24	Alta tendencia a las exportaciones hasta el 2009. Equivalencia entre exportaciones e importaciones en el 2010. Baja tendencia a las exportaciones en el 2011
61	0,91	0,95	0,93	0,93	0,87	0,72	Alta tendencia a las exportaciones. Leve disminución de la tendencia a las exportaciones en el 2011.

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración
2	1	1	1	1,00	0,29	0,07	Muy alta tendencia a las exportaciones hasta el 2009, con alta disminución en el 2011. En el 2011 son casi equivalentes las exportaciones frente a las importaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Se encuentran sectores con muy alta tendencia exportadora como el petrolero (capítulo 27) y el sector cafetero (capítulo 9). El sector petrolero ha aumentado la tendencia exportadora especialmente entre 2009 - 2011. El sector cafetero tiene una muy alta tendencia exportadora durante todo el período 2006 - 2011, con un valor de 1 que indica que no se presentaron importaciones. Se observa la pérdida de tendencia exportadora del sector piedras preciosas (capítulo 71), hasta el 2010 presentó muy alta tendencia exportadora, pero en el 2011 el índice de la balanza comercial fue negativo, indica mayor valor importado que exportado. Los sectores correspondientes a las confecciones (61 y 62) mostraron entre 2006 - 2011 muy alta tendencia exportadora sostenida con una leve disminución en el 2011. El sector calzado (capítulo 64) presentó muy alta tendencia exportadora hasta el 2009, en el 2010 se logra un equilibrio entre importaciones y exportaciones (balanza comercial relativa 0.0) y en el 2011 vuelve a tener un pequeño aumento de la tendencia exportadora. Otro sector con alta tendencia exportadora es el cárnico (2) hasta el 2009, y luego presentó disminución en el indicador de la balanza comercial relativa.

Los sectores que presentan tendencia importadora, es decir, mayor importación que exportación, son vehículos automóviles (capítulo 87), reactores nucleares (capítulo 84), materias y manufacturas plásticas capítulo (39), en todos los años entre 2006 - 2011 el valor de la balanza comercial relativa fue negativa para estos sectores.

Balanza comercial relativa sectorial con referencia al mercado de Estados Unidos

Es una adaptación que se hace respecto a la balanza comercial sectorial, tomando en este caso un mercado específico. Para el caso del presente estudio se toma como región de análisis Santander y mercado específico Estados Unidos. Con ello se quiere determinar la dinámica exportadora o importadora de cada capítulo de Santander en el mercado de Estados Unidos. Se ajusta la fórmula de la siguiente manera:

$$BCR_{ij} = \frac{(X_i^j - M_i^j)}{(X_i^j + M_i^j)}$$

X_i^j = Exportaciones del capítulo i al mercado j.

M_i^j = Importaciones del capítulo i del mercado j

Siendo:

- i = cada capítulo arancelario;
- j = mercado de Estados Unidos

El numerador se refiere a la balanza comercial entre Estados Unidos y Santander para el sector i; el denominador es el comercio total bilateral entre Estados Unidos y Santander.

El rango de la BCR_{ij} se ubica entre -1 y 1, reflejando una ventaja competitiva cuando es positivo y una desventaja cuando es negativo. La ventaja será mayor entre más cercana esté de 1 y la desventaja mayor entre más se acerque a -1.

Tabla 6. *Índice de Balanza Comercial Relativa de sectores de Santander en el mercado de Estados Unidos Bcr_{ij}*

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración Santander respecto al mercado Estados Unidos
27	0,09	-1,00	0,16	0,97	0,99	0,99	Ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos. Ha logrado ventaja competitiva respecto al 2006.
9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Alta ventaja competitiva del sector En el mercado de Estados Unidos Se ha sostenido la ventaja entre 2006 - 2011.
71	0,98	0,22	-0,27	-0,76	-0,98	-1,00	En el 2006 se presentó alta ventaja competitiva. Pérdida de ventaja competitiva a partir del 2008.
29	-1,00	-0,01	0,75	0,98	0,88	0,20	Baja ventaja competitiva en el año 2011. Se ha ganado ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos a partir del año 2008, que disminuyó en el 2011.
87	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-0,87	No presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.
15	1,00	0,99	n.d	n.d	n.d.	-1,00	En el 2006 se presentó alta ventaja competitiva que se perdió en los años siguientes.

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración Santander respecto al mercado Estados Unidos
84	-0,97	-0,98	1,00	-0,97	-0,96	-0,97	No presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.
62	0,93	0,91	1,00	0,99	0,97	0,88	Presenta alta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos, que se ha logrado mantener entre 2006 - 2011.
39	-0,97	-0,99	1,00	-1,00	-0,99	-1,00	No presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.
64	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	Muy alta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos que se ha mantenido entre 2006 – 2011.
61	0,94	0,86	1,00	0,86	0,67	0,48	Presenta buena ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos con tendencia a la disminución competitiva en el 2011.
2	n.d	n.d	n.d	-1	-1	-1	No presenta ninguna ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el Índice de Balanza comercial relativa, los sectores con ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos corresponden al café (capítulo 9), confecciones (capítulos 61 y 62) y calzado (capítulo 64), que presentaron, entre 2006 - 2011, valores cercanos a 1. Se destaca también el sector petrolero (capítulo 27) a partir del 2009.

Sectores sin ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos, son el cárnico (capítulo 2), manufacturas plásticas (capítulo 39), reactores nucleares y máquinas (capítulo 84) y vehículos automóviles (capítulo 87), porque los valores del índice son negativos en todos los años (entre 2006 - 2011, cercanos a -1).

Los demás sectores presentaron un comportamiento variable, por ejemplo el de grasas y aceites (capítulo 15) presentó alta ventaja en el 2006 (índice 1) y ninguna ventaja en el 2011 (índice -1). Otro sector de Santander que perdió ventajas en el mercado de Estados Unidos es el de piedras preciosas (capítulo 71).

Índice de ventaja comparativa revelada

Establece una relación entre el saldo comercial de una región en un mercado específico para un producto determinado; con el total del intercambio comercial de la región para un producto. Se establece en un tiempo determinado, que generalmente es un año. El cálculo del índice de ventaja comparativa revelada se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$IVCR_{it}^k = \frac{X_{ijt}^k - M_{ijt}^k}{X_{wti}^k + M_{wti}^k}$$

X_{ijt}^k = Exportaciones del capítulo k realizadas por la región i al mercado j en el año t.

M_{ijt}^k = Importaciones del capítulo k realizadas por la región i desde el mercado j en el año t

X_{wti}^k = Exportaciones del capítulo k realizadas por la región i al mundo (w)

M_{wti}^k = Importaciones del capítulo k realizadas por la región i de todo el mundo (w)

En el caso específico, se hace el cálculo del Índice de Ventaja Comparativa Revelada de los capítulos representativos de las exportaciones de Santander con respecto al mercado de Estados Unidos, para ello se hacen las siguientes adaptaciones:

X_{ijt}^k = Exportaciones del capítulo k realizadas por Santander al mercado de Estados Unidos.

M_{ijt}^k = Importaciones del capítulo k realizadas por Santander desde Estados Unidos

X_{wti}^k = Exportaciones totales del capítulo k realizadas por Santander al mundo (w)

M_{wti}^k = Importaciones totales del capítulo k realizadas por Santander de todo el mundo (w)

El indicador puede tomar valores positivos o negativos (provenientes del numerador). Un valor positivo expresa una ventaja en los intercambios comerciales derivado del superávit en la balanza comercial sectorial y un valor negativo muestra una desventaja en los intercambios comerciales proveniente de un déficit en la balanza comercial sectorial. Entre mayor sea el valor positivo, es un indicativo de un sector con potencial competitivo; entre mayor será el valor negativo, indica la carencia de competitividad del sector en el mercado externo.

Tabla 7. *Índice de ventaja comparativa revelada de sectores de Santander en el mercado de Estados Unidos* **IVCR_{it}**

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración competitiva de Santander en el mercado de Estados Unidos
27	0,00	-0,01	0,06	0,39	0,43	0,35	Potencial competitivo mediano. Ganó competitividad en 2009, 2010 y 2011 en el mercado de Estados Unidos.
9	0,38	0,34	0,31	0,35	0,38	0,42	Potencial competitivo mediano. El potencial competitivo tiende a ser constante entre el 2006 - 2011.
71	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	Carece de competitividad. Ha disminuido la competitividad en el mercado de Estados Unidos a partir del 2006.
29	-0,04	0,00	0,31	0,51	0,74	0,09	Muy baja competitividad. Con tendencia a ganar competitividad en el mercado de Estados Unidos, especialmente entre 2008 - 2010.

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración competitiva de Santander en el mercado de Estados Unidos
87	-0,11	-0,11	-0,10	-0,08	-0,10	-0,11	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.
15	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,07	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.
84	-0,45	-0,38	0,01	-0,39	-0,34	-0,27	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.
62	0,49	0,31	0,32	0,39	0,39	0,24	Potencial competitivo mediano. Ha disminu- do levemente el potencial competitivo en el 2011, respecto a los años ante- riores.
39	-0,15	-0,18	0,01	-0,20	-0,16	-0,11	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.
64	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	Muy baja competitividad. No se evidencia ganancia de competitividad entre 2006 - 2011.
61	0,12	0,12	0,06	0,05	0,10	0,06	Muy baja competitividad. No se evidencia ganancia de competitividad entre 2006 - 2011.

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración competitiva de Santander en el mercado de Estados Unidos
							Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.
2	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,36	-0,46	

Fuentes: Elaboración propia.

Los sectores de Santander con mayor ventaja comparativa revelada en el mercado de Estados Unidos, son el café (capítulo 9) y prendas de vestir de punto (capítulo 62). El sector petrolero (capítulo 27), presenta ventajas a partir del 2009.

La diferencia entre el indicador de ventaja comparativa revelada con el índice de la balanza comercial relativa, es que de alguna manera tiene en cuenta la participación en el intercambio comercial entre los dos países. Es decir, que aquellos sectores que tienen valores más altos tienen mayor participación en las exportaciones a Estados Unidos.

Estas diferencias se pueden apreciar principalmente en el sector calzado (capítulo 64) que presenta un índice de balanza comercial relativa cercano a 1, pero el índice de ventaja comparativa revelada es muy cercano a 0. Expresa que la participación del sector calzado de Santander en Estados Unidos es muy baja respecto al total del intercambio comercial entre ambas regiones. Lo mismo sucede para prendas de vestir de punto (capítulo 61).

Índice de Balassa

Mide el grado de importancia de un producto dentro de las exportaciones a un mercado específico. También se denomina índice de ventaja comparativa revelada de las exportaciones (IVCR- EXP). Para ello establece una relación entre participación de las exportaciones del producto al mercado destino frente a las exportaciones del producto con las exportaciones totales. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IB_{ij}^k = \frac{X_{ij}^k / XT_{ij}}{X_{iw}^k / XT_{iw}}$$

X_{ij}^k = Exportaciones del capítulo k realizadas por la región i hacia el país j

XT_{ij} = Exportaciones totales de la región i, al país j

X_{iw}^k = Exportaciones del capítulo k por la región i, al mundo (w)

XT_{iw} = Exportaciones totales de la región i, al mundo (w)

En el caso específico de aplicación para el proyecto, se hace el cálculo del indicador para las exportaciones de Santander en el mercado de Estados Unidos, para ello se toman los datos de la siguiente manera:

X_{ij}^k = Exportaciones del capítulo k realizadas por Santander a Estados Unidos

XT_{ij} = Exportaciones totales de Santander a Estados Unidos

X_{iw}^k = Exportaciones del capítulo k de Santander al mundo

XT_{iw} = Exportaciones totales de Santander al mundo

Para la interpretación del indicador se sigue la siguiente escala de acuerdo con lo propuesto por Durán y Álvarez (2008):

- Mayor de 0,33: Existe ventaja para la región
- Menor de -0,33: Existe desventaja para la región
- Entre -0,33 y 0,33: No se evidencia ventaja ni desventaja

Para la homogeneidad de los datos, se toman tanto las exportaciones como las importaciones del Sistema Estadístico de Comercio Exterior Colombiano, de la Dian. Para las exportaciones se toman valores Fob (en puerto de origen) y para las importaciones se toman valores CIF (en puerto de destino).

Tabla 8. *Índice de Balassa de sectores de Santander en el mercado de Estados Unidos* IB_{ij}^k

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración competitiva de Santander en el mercado de Estados Unidos
27	0,07	0,00	2,83	2,59	1,21	1,06	Existe ventaja del sector en sus exportaciones a Estados Unidos.
9	1,69	2,51	2,95	2,22	1,06	1,29	Existe ventaja del sector en las exportaciones a Estados Unidos.
71	0,84	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	No se presenta ventaja exportadora para el mercado de Estados Unidos.
29	0,00	0,86	3,86	3,91	2,67	1,48	Se ha ganado ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos, especialmente a partir del 2008.
87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
15	0,24	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
84	0,30	0,27	0,39	0,28	0,29	0,13	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
62	2,35	2,45	3,06	2,57	1,15	0,88	Se presentó ventaja en las exportaciones a Estados Unidos, que disminuyó en el 2011.

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración competitiva de Santander en el mercado de Estados Unidos
39	0,11	0,05	0,54	0,00	0,01	0,00	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
64	0,23	0,20	0,35	0,20	0,26	0,12	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
61	0,56	1,03	0,60	0,39	0,36	0,34	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
2	0	0	0	0	0	0	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.

Fuente: Elaboración propia.

El índice de Balassa, tal y como se calculó con base en la fórmula, no presenta acotación, es decir, que no se ubica dentro de un rango; para lograr ubicarlo dentro de un rango, se hace una normalización del indicador de la siguiente forma:

$$IB_{normalizado} = \frac{IB-1}{IB+1}$$

Ello hace que el índice se ubique dentro en un rango entre -1 y 1. Cuando el índice se ubica en -1, o en valores cercanos significa que tiene no se tiene ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos, y cuando el indicador toma el valor de 1 o cercano a dicho valor muestra ventaja en dicho mercado.

Tabla 9. *Índice de Balassa normalizado de sectores de Santander en el mercado de Estados Unidos* **IB_{normalizado}**

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración competitiva de Santander en el mercado de Estados Unidos
27	0,07	0,00	0,74	0,72	0,55	0,51	Existe ventaja del sector en sus exportaciones a Estados Unidos.
9	0,26	0,43	0,49	0,38	0,03	0,13	Existe ventaja del sector en sus exportaciones a Estados Unidos.
71	-0,09	-0,97	-0,97	-1,00	-1,00	-1,00	No se presenta ventaja exportadora para el mercado de Estados Unidos.
29	-1,00	-0,08	0,59	0,59	0,46	0,19	Se ha ganado ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos, especialmente a partir del 2008.
87	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-0,74	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
15	-0,62	-0,80	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
84	-0,54	-0,58	-0,44	-0,57	-0,55	-0,78	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
62	0,40	0,42	0,51	0,44	0,07	-0,07	Se presentó ventaja en las exportaciones a Estados Unidos, que disminuyó en el 2011.

CAP	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Valoración competitiva de Santander en el mercado de Estados Unidos
39	-0,80	-0,91	-0,30	-1,00	-0,98	-1,00	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
64	-0,63	-0,67	-0,48	-0,67	-0,59	-0,78	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
61	-0,28	0,01	-0,25	-0,44	-0,47	-0,49	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
2	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.

Fuente: Elaboración propia.

El índice de Balassa muestra de una forma más específica el potencial de cada capítulo en el mercado de Estados Unidos, ya que tiene en cuenta no solo la relación entre exportaciones e importaciones sectoriales al mercado de referencia; sino que además se establece una relación del sector frente a las exportaciones totales de la región.

Según el índice de Balassa normalizado, los sectores de Santander que presentan ventajas en el mercado de Estados Unidos son el sector petrolero (capítulo 27), a partir del 2008 el sector cafetero (capítulo 9), y confecciones no de punto (capítulo 62) hasta el 2009. Los demás sectores no presentan ventajas en el mercado de Estados Unidos.

Tabla 10. Resumen de indicadores de dinamismo comercial utilizados en el estudio

Indicadores	Balanza Comercial Relativa sectorial	Balanza Comercial relativa sectorial con referencia a un país destino	Índice de ventaja comparativa revelada	Índice de Balassa
FÓRMULA	$BCRS = \frac{(EXP_{CAP} - IMP_{CAP})}{(EXP_{CAP} + IMP_{CAP})}$	$BCR_{it} = \frac{X_{lit}^k - M_{lit}^k}{X_{wti}^k + M_{wti}^k}$	$IVCR_{it}^k = \frac{X_{lit}^k - M_{lit}^k}{X_{wti}^k + M_{wti}^k}$	$IB_{it}^k = \frac{X_{lit}^k}{M_{lit}^k} \cdot \frac{M_{wti}^k}{X_{wti}^k}$
DEFINICIÓN	La Balanza comercial relativa sectorial mide la tendencia importadora o exportadora del capítulo.	El numerador se refiere a la Balanza comercial entre el país j y la región de referencia para el sector i; el denominador es el comercio total bilateral entre el país i y la región de referencia.	Establece una relación entre el saldo comercial de una región en un mercado específico para un sector determinado; con el total del intercambio comercial de la región para dicho sector.	Establece una relación entre participación de las exportaciones del producto al mercado destino frente a las exportaciones del producto con las exportaciones totales.
CONTEXTO	En el numerador se establece la Balanza comercial del capítulo para Santander. En el denominador se suman las exportaciones e importaciones totales del capítulo de Santander. No se hace referencia a un mercado específico	En el numerador se calcula la Balanza comercial de cada sector entre Santander y Estados Unidos. En el denominador se establece el total del intercambio comercial entre Santander y Estados Unidos.	En el numerador se establece una diferencia entre las exportaciones del capítulo de Santander a Estados Unidos con las importaciones de dicho capítulo realizadas por Santander provenientes de Estados Unidos. En el denominador se suman las exportaciones del capítulo realizadas por Santander a todo destino con las importaciones de Santander del mismo capítulo provenientes de todos los destinos.	En el numerador se establece una relación entre las exportaciones del capítulo realizadas por Santander hacia Estados Unidos con las exportaciones totales de Santander a ese mismo mercado. En el denominador se establece una relación entre las exportaciones totales del capítulo realizadas por Santander a todo destino, con las exportaciones totales de Santander a todo destino.
RANGO	De -1 a 1	De -1 a 1	El indicador puede tomar valores positivos o negativos	Mayor de 0,33: Existe ventaja para la región. Menor de -0,33: Existe desventaja para la región. Entre -0,33 y 0,33: No se evidencia ventaja ni desventaja.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. *Resumen de valoración indicadores de dinamismo comercial para los sectores representativos de las exportaciones de Santander*

	Balanza comercial relativa sectorial	Balanza comercial relativa sectorial con referencia al mercado de Estados Unidos	Índice de ventaja comparativa revelada de Santander en el mercado de Estados Unidos	Índice de Balassa aplicado a sectores de Santander en el mercado de Estados Unidos
CAP	VALORACIÓN 2006 - 2011	VALORACIÓN 2006 - 2011	VALORACIÓN 2006 - 2011	VALORACIÓN 2006 - 2011
27	Muy alta tendencia exportadora, especialmente en 2009, 2010. Aumento de la tendencia exportadora entre 2006 - 2011	Ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos. Ha logrado ventaja competitiva respecto al 2006.	Potencial competitivo mediano. Ganó competitividad en 2009, 2010 y 2011 en el mercado de Estados Unidos.	Existe ventaja en las exportaciones del sector a Estados Unidos.
9	Muy alta tendencia exportadora. Se mantiene la tendencia exportadora entre 2006 - 2011	Alta ventaja competitiva del sector en el mercado de Estados Unidos. Se ha sostenido la ventaja entre 2006-2011.	Potencial competitivo mediano. El potencial competitivo tiende a ser constante entre el 2006 - 2011.	Existe ventaja del sector en las exportaciones a Estados Unidos.
71	Alta tendencia exportadora hasta el 2010. En el 2011 la tendencia cambió hacia las importaciones.	No presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos. Pérdida de ventaja competitiva a partir del 2008. En el 2006 se presentó alta ventaja competitiva.	Carece de competitividad. Ha disminuido la competitividad en el mercado de Estados Unidos a partir del 2006.	No se presenta ventaja exportadora para el mercado de Estados Unidos.
29	Tendencia exportadora baja, especialmente en el 2011. Presentó tendencia alta a las exportaciones entre 2007 - 2010.	Baja ventaja competitiva en el 2011. Se ha ganado ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos a partir del 2008, que disminuyó en el 2011.	Muy baja competitividad. Con tendencia a ganar competitividad en el mercado de Estados Unidos especialmente entre 2008 - 2010.	Se ha ganado ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos, especialmente a partir del 2008.

87	Tendencia a las importaciones. Aumento en la tendencia a las importaciones.	No presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
15	Tendencia exportadora media hasta el 2010. En el 2011 se presentó tendencia hacia las importaciones.	El sector no presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos. En el 2006 tenía alta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos, que se perdió.	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
84	Alta tendencia a las importaciones. Aumento en la tendencia hacia las importaciones.	No presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
62	Muy alta tendencia a las exportaciones. Leve disminución en el 2011.	Presenta alta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos, que se ha logrado mantener entre 2006 - 2011.	Potencial competitivo mediano. Ha disminuido levemente el potencial competitivo en el 2011, respecto a los años anteriores.	Se presentó ventaja en las exportaciones a Estados Unidos, que disminuyó en el 2011.
39	Alta tendencia a las importaciones. Leve disminución de la tendencia a las importaciones entre 2009 - 2011.	No presenta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.
64	Alta tendencia a las exportaciones hasta el 2009. Equivalencia entre exportaciones e importaciones en el 2010. Baja tendencia a las exportaciones en el 2011	Muy alta ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos. Se ha mantenido la ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos entre 2006-2011	Muy baja competitividad. No se evidencia ganancia de competitividad entre 2006 - 2011.	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.

61	Alta tendencia a las exportaciones. Leve disminución de la tendencia a las exportaciones en el 2011.	Presenta buena ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos. Se presenta disminución de la ventaja competitiva en el 2011 respecto al 2006.	Muy baja competitividad. No se evidencia ganancia de competitividad entre 2006 - 2011.	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos, con tendencia a la disminución.
2	Muy alta tendencia a las exportaciones hasta el 2009, con alta disminución en el 2011. En el 2011 es casi equivalente las exportaciones frente a las importaciones.	No presenta ninguna ventaja competitiva en el mercado de Estados Unidos.	Carece de competitividad. No se presenta ninguna ventaja en el mercado de Estados Unidos entre 2006 - 2011.	No se presenta ventaja exportadora al mercado de Estados Unidos.

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la balanza comercial sectorial se aprecia que hay sectores con muy alta tendencia exportadora con referencia, especialmente al 2011, como los capítulos 27, 9, 61, 62; los capítulos 64 y 71 presentaron alta tendencia exportadora hasta el 2010, y se dio un cambio de dicha tendencia en el 2011. Es importante resaltar que dicha tendencia es relativa respecto al comportamiento del valor total de las exportaciones de la región.

Otros sectores exportadores de Santander presentan baja tendencia exportadora, como los capítulos 29, 87, 15, 84 y 39 donde, en algunos años, se presenta balanza comercial relativa sectorial negativa.

Conclusiones

Las conclusiones se enfocan en dos sentidos, inicialmente hacia el comportamiento de las exportaciones de la región con base en los resultados de la aplicación de los indicadores y, posteriormente, sobre el uso y limitaciones que pueden tener los indicadores en la determinación del posicionamiento competitivo.

Los principales cambios que se presentan entre la estructura exportadora del departamento de Santander, entre el 2006 y el 2011 están

relacionados con el aumento significativo de las exportaciones de combustibles del petróleo (capítulo 27) y la disminución de las exportaciones de oro (capítulo 71).

Con base en el indicador de balanza comercial relativa sectorial se identifica que los sectores con muy alta tendencia exportadora son el capítulo 27 del sector de combustibles de petróleo y el sector cafetero (capítulo 9), caracterizados principalmente por el hecho de que no se generan importaciones de productos de esos sectores. El valor del indicador, más que reflejar el comportamiento del valor de las exportaciones, evidencia la fortaleza del sector frente a las importaciones. Pero en este caso, ambos sectores son los que tienen la mayor participación en las exportaciones del departamento en el 2011. Estos dos sectores representaron en dicho año el 86% del valor de las exportaciones de Santander lo que evidencia una muy alta concentración de las exportaciones en estos dos renglones económicos.

Otros sectores que evidenciaron tendencia favorable a las exportaciones en el departamento de Santander son confecciones (caps. 61 y 62) y calzado (64), aunque en 2010 y 2011 disminuyeron.

Sectores que presentaron cambios significativos desfavorables, es decir, paso de alta tendencia exportadora a tendencia importadora son el sector aceites y grasas (cap. 15), el sector de piedras preciosas (cap. 71) y el sector cárnicos (cap. 2). El sector de productos químicos orgánicos (29) tiene una media tendencia exportadora. Los demás sectores incluidos en el estudio reflejan mayor tendencia a las importaciones que corresponden a vehículos automóviles (87); reactores nucleares, calderas, y máquinas (84); y materias y manufacturas plásticas (39).

Sobre el potencial de la relación comercial sectorial entre Santander y el mercado de Estados Unidos se encuentra que los sectores con ventajas en exportaciones son el de combustibles de petróleo (cap. 27), el cafetero (cap. 2) y el sector de confecciones excepto de punto (cap. 62), aunque con tendencia a perder dicha ventaja en el 2011. Los demás sectores carecen de competitividad en dicho mercado.

Respecto al uso de indicadores aplicados, se deduce que ellos permiten reflejar una dinámica desde el comportamiento comercial de la región y las relaciones comerciales con un mercado, pero no permiten tener una mirada global de la competitividad del sector en el escenario internacional o respecto a un mercado específico, es decir, que tiene limitantes por cuanto no se tienen en cuenta otros aspectos como el tamaño y comportamiento del mercado destino, participación y competidores en el mercado. Por tanto se recomienda el uso de estos indicadores acompañados de otras variables para tener una visión más completa del comportamiento competitivo de la región y de los sectores.

Referencias

- Barrientos, O. (2012). La incorporación de las teorías clásicas y neoclásicas del comercio internacional al discurso dominante (mainstream) de las relaciones internacionales en el siglo XXI. *Revista Análisis Internacional RAI*, No. (5), 19-35.
- Bejarano, J. (1998). Elementos para un enfoque de la competitividad en el sector agropecuario. En *Colección de documentos IICA, Serie competitividad, No. 3*, 23-26. República de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Colombia.
- Bernal, C., & Laverde, J. (1995). *Proyecto de modernización de las pymes. Gestión Tecnológica*. Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. Bogotá, D.C.
- Chesnais, F. (1981). *The Notion of International Competitiveness*. Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE). Mimeo.
- Durán, J., y Álvarez M. (2008). *Indicadores de comercio exterior y política comercial: mediciones de posición y dinamismo comercial*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Documento de proyecto.
- Fagerberg, J. (1988, June). International Competitiveness. *The Economic Journal*, 98(391).
- Fajnzylber, F. (1998). Competitividad internacional: evolución y lecciones. *Revista de la Cepal*, No. 36. Santiago de Chile.
- Mayorga, J. Z., Martínez, C. (2008). Paul Krugman y el Comercio Internacional. *Criterio Libre*, No (8), 73-86.
- Pérez, M. (2006). La presentación de las ventajas comparativas: una nota pedagógica. *Revista de Economía Institucional*, 8(14), 263-275.

- Porter, M. (1990). *Ser competitivos*. España: Editorial Deusto.
- Porter, M. (1996). What is strategy? *Harvard Business Review* 74(6), 61-78).
- Solleiro, J.L., & Castañón, R. (2005). Competitiveness and innovation systems: the challenges for Mexico's insertion in the global context. *Technovation*, 25(9), 1059-1070.
- Tugores, J. (2006). *Economía internacional: Globalización e integración regional*. McGraw-Hill / Interamericana. España.

Eficacia del programa de transferencia de nueva tecnología de producción en el cultivo de cacao de Rionegro, Santander: Un estudio de caso¹

Álvaro Ramírez Suárez

*Grupo de investigación USTAGRI, Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias
Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.
Correo de contacto: alvaro.ramirez@ustabuca.edu.co*

José Agustín Gómez

*Grupo de investigación USTAGRI, Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias
Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.*

Diana Lizeth Rodríguez Barrios

*Grupo de investigación USTAGRI, Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias
Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.*

Félix Alberto Torres Morantes

*Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias
Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.*

Iván Guillermo Morantes Perico

*Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias
Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.*

Elvin Javier Barajas

Federación Nacional de Cafeteros - FEDECACAO

Fabio Aranzazu Hernández

Federación Nacional de Cafeteros - FEDECACAO

-
1. El capítulo corresponde a resultados del proyecto de investigación bajo el mismo nombre, desarrollado por el grupo de investigación USTAGRI de la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga, con la participación de FEDECACAO.

Introducción

Según datos de la FAO, en los últimos cincuenta años la tasa de crecimiento promedio anual de la producción nacional de cacao ha sido del 0,05% año-1 con un coeficiente de variación (CV) del 37.3%. Es decir, la producción se ha mantenido relativamente estancada, fluctuando en el rango de 27.000 a 50.000 t año-1, durante este período. La baja tasa de crecimiento de la producción la explica en un 97,4%, la expansión de las áreas de cultivo y en un 2,6% el aumento en la productividad. Este hecho refleja que, no obstante, los esfuerzos del país en materia de investigación y transferencia de tecnologías para aumentar la productividad del cacao, los rendimientos del cultivo se han mantenido oscilando alrededor de 460 ha-1. Mientras el consumo de cacao por persona en el mercado interno se considera bajo (estimado en menos de 0.7 kg persona-1 año-1), el país viene aumentando el valor y volumen de las importaciones de cacao en grano y sus productos derivados a fin de completar el abastecimiento nacional con poco margen para ahorrar y generar divisas a través de exportaciones (MADR, UN y CPCC, 2011).

Diferentes estudios documentan que la baja productividad en la agricultura se encuentra asociada con el bajo nivel de adopción por los agricultores de la tecnología mejorada disponible, así como al uso poco eficiente de prácticas agronómicas para alcanzar altos rendimientos (Feder, Just, & Zilberman, 1985); (Birkhauser, Evenson & Feder, 1991). Un estudio del MADR encontró que el 77% de los cultivadores de cacao en Colombia se clasificaban como no adoptadores de nuevas tecnologías, representadas por el uso deficiente o el no uso de prácticas básicas de manejo genético (clones) y manejo agronómico, como: fertilización, control de malezas y enfermedades, podas, cosecha y beneficio del grano (MADR, 2005). Un estudio censal adelantado por FEDECACAO en el 2008 indicó igualmente que, la tasa de adopción temprana de clones en el departamento de Santander era del 12.6% considerada baja (Rojas, 2008).

El presente estudio es el resultado de un esfuerzo de investigación colaborativo entre la Universidad Santo Tomás y la Federación Nacional de Cacaoteros USTA-FEDECACAO, enfocado a medir la eficacia

del Programa de Transferencia de Tecnología (PTT) de la Federación, para diseminar y promover la adopción por los cultivadores de cacao, de 15 tecnologías para altas producciones basadas en la introducción de clones, en el municipio de Rionegro, Santander.

La hipótesis central del estudio es la existencia de una relación positiva entre la eficacia² de los programas de transferencia de tecnología y el grado de difusión y adopción de nuevas prácticas de manejo genético y agronómico del cultivo del cacao para altas productividades, calidad del grano y mayor tolerancia a enfermedades, en condiciones de sistemas agroforestales. El estudio tiene carácter piloto y de estudio de caso en la medida que diseña y evalúa una metodología para:

- a. Medir la eficacia de un Programa de Transferencia de Tecnología (PTT) en cacao ejecutado por FEDECACAO.
- b. Medir el nivel de difusión y adopción de la tecnología mejorada del cultivo por los agricultores.
- c. Identificar los factores de tipo institucional y socioeconómicos que limitan la adopción y uso eficiente de la tecnología mejorada del cultivo.
- d. Analizar las implicaciones técnicas y económicas de los resultados para el fortalecimiento del PTT de la Federación.

Marco teórico

La difusión de innovaciones se ha definido como el proceso en el que una nueva idea es diseminada en el tiempo y espacio por medio de ciertos canales, entre los miembros de un sistema social. En turno, la adopción se ha identificado como un proceso continuo de decisiones para hacer uso completo de una nueva idea: desde oírla por primera vez hasta adoptarla. Si la idea es novedosa el individuo la considera como una innovación (Rogers & Shoemaker, 1971).

2. No hay nada más inútil que hacer eficientemente aquello que no se debiera hacer. Porque eficiencia es hacer las cosas bien; pero eficacia es hacer bien las cosas que hacen falta (Drucker, 1986).

Desde mediados del siglo XX los científicos sociales han tratado de medir y explicar la difusión y adopción de nuevas tecnologías en la agricultura. Esto ha llevado a la acumulación de literatura relacionada con distintas corrientes de pensamiento teóricas y aplicaciones empíricas sobre la transferencia de tecnología (Feder, Just & Zilberman, 1985); (Doss, 2006). Los estudios teóricos iniciales sobre la difusión de innovaciones tecnológicas, en las diferentes ramas de la ciencia, se basaron en la teoría del “contagio” y la “imitación”, las cuales asocian la probabilidad de adopción con la existencia de un adoptador anterior y la rentabilidad esperada de la innovación (Griliches, 1957); (Mansfield, 1961); (Rogers, 1962).

En las ciencias económicas, la teoría reciente se basa en el supuesto de que, el adoptador potencial selecciona la tecnología a adoptar, basado en que la utilidad esperada de la innovación sea mayor que la utilidad de la tecnología actual, sujeta a: las relaciones de precios y características de la tecnología, agricultor y dotación de recursos productivos (Rahm & Huffman, 1984). Esta formulación implica la especificación de la adopción como un modelo de selección binario (sí o no), el cual, se debe estimar mediante modelos econométricos probabilísticos o logísticos (Feder, Just & Zilberman, 1985).

En general, la mayoría de los estudios sobre el proceso de difusión y adopción se han enfocado a investigar, qué determina el patrón de difusión de una innovación entre la población de adoptadores potenciales y qué determina la adopción por el productor. Esto se ha realizado en contextos estáticos y en menor medida dinámicos (Abadi-Ghadim & Pannell, 1999). Más recientemente, se han orientado a establecer la eficacia de estos procesos y a medir las probabilidades de adopción.

Los indicadores de la eficacia de cualquier sistema de difusión y adopción (referido de ahora en adelante como programa de transferencia de tecnología PTT) son: la velocidad y el grado o nivel de difusión y adopción de las innovaciones por los agricultores³.

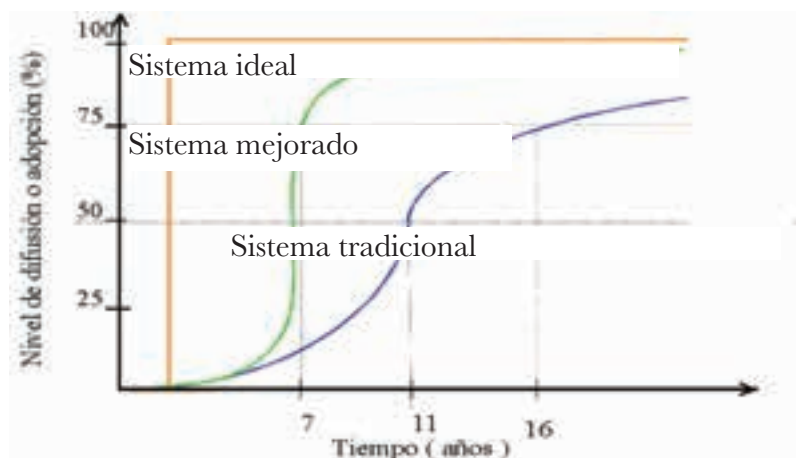
3. El grado de adopción en cacao se entiende como la relación entre el área (ha) de cacao bajo la tecnología y el área total (ha) de cacao en la unidad productiva. El nivel de adopción se define como la relación entre el número de agricultores (o área en has) que adoptan la tecnología sobre el número de agricultores (o área en has) en la muestra.

Según (Griliches, 1957) y (Rogers., 1983), ambos procesos tienden a seguir una trayectoria logística (en forma de “S”) en el tiempo (figura 1). La pendiente de estas curvas es una medida de la velocidad del proceso. La altura de las curvas, a su vez, refleja el grado o nivel de cobertura de la tecnología en difusión o adopción. Mientras que la velocidad muestra la eficiencia del PTT, el grado o nivel de adopción indican la relevancia, pertinencia y congruencia para los agricultores de adoptar y usar la nueva tecnología para maximizar la utilidad de adoptar la innovación mediante el aumento de rendimientos, reducción de costos unitarios y el incremento de las ganancias y rentabilidad.

En un PTT ideal, la respuesta en adopción de los agricultores a la difusión de innovaciones de la tecnología ocurre casi instantáneamente con el 100% de los agricultores adoptadores potenciales, usando la tecnología en un período muy corto de tiempo como lo ilustra la curva amarilla de la figura 1. A menor eficacia del PTT mayor es el período de tiempo requerido para alcanzar un nivel dado de adopción y menor es dicho nivel antes de que la tecnología se torne obsoleta. La trayectoria de adopción de las innovaciones es rezagada y sigue un patrón representado por la curva azul en la figura 1.

Como lo documenta la literatura en agricultura, procesos tradicionales de transferencia usualmente requieren el doble o más del tiempo para alcanzar el mismo nivel de adopción que procesos eficaces (Feder, Just, & Zilberman, 1985). Con las inversiones realizadas los agricultores y las instituciones en el aumento de la eficacia de los PTT, la pendiente y altura de dicha trayectoria se debe incrementar sensiblemente como lo ilustra la curva verde de la figura 1. Por tanto, la eficacia de un sistema de difusión y de transferencia de tecnología se puede visualizar como la diferencia en la velocidad y el nivel de adopción de las prácticas mejoradas comparadas con el sistema tradicional. La magnitud del área entre las dos curvas es un indicador del valor económico de los beneficios atribuibles a un PTT eficaz.

Figura 1. Comportamiento en el tiempo de la difusión y adopción de nuevas tecnologías en PTT ideales, tradicionales y mejorados



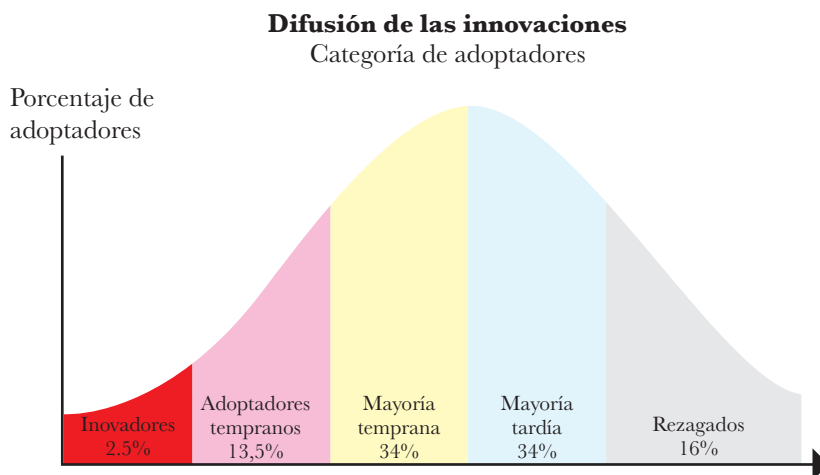
Fuente: Adaptación de los autores según Rogers (Rogers, 1983).

El proceso de transferencia de tecnologías en agricultura normalmente se realiza en distintas fases. Beale y Boleen (1955) citados por Byerlee, identificaron tres fases críticas en el proceso de difusión y adopción de tecnologías en agricultura (Byerlee & Hesse, 1986); (Lindner, Pardey, & Jarret, 1987); (Mansfield, 1968); (Purcell & Anderson, 1997); (Marra, Pannell, & Abadi, 2003); (Forero, Rojas, & Arguelles, 2013). En la fase de alerta el agricultor se entera por primera vez de la existencia de una innovación con conocimiento insuficiente acerca de la misma. Por tanto, previo a la fase de adopción, el agricultor entra en una fase de recolección de más información, ensayo y evaluación de la innovación. La adopción y uso económicamente eficiente de la tecnología es la última fase del proceso.

Rogers clasificó los adoptadores de innovaciones (tecnologías, productos, servicios) en cuatro grupos asumiendo que el proceso de conocimiento, prueba y adopción de innovaciones sigue una distribución normal en el tiempo: innovadores, adoptadores tempranos, adoptadores tardíos y rezagados (Rogers, 1962). La figura 2 ilustra la función de probabilidad del proceso y delimita los grupos y su tamaño (porcentajes) según la desviación estándar y el área de la curva de la distribución normal. Este marco teórico ha sido el principal fundamento para

entender el ciclo de vida de las innovaciones y relacionarlo con factores que determinan la adopción de una tecnología en la agricultura. Por tanto, este principio es fundamental para estudiar la eficacia de los PTT en la agricultura.

Figura 2. *Función de densidad de la distribución de la difusión y adopción de innovaciones en el tiempo y entre la población*



Fuente: Tomado de www.agro.uba.ar

Los estudios de procesos de transferencia documentan que los adoptadores potenciales dependen de diferentes fuentes de información en las distintas fases críticas (Birkhauser, Evenson & Feder, 1991); (Caswell, Flugie, Ingram, Jans, & Kascak, 1992); (Feder & Umali, 1993); (Doss, 2006). Es decir, no hay una sola fuente “milagrosa”. En efecto, ciertas fuentes de información pueden ser más efectivas que otras como agentes de cambio y el acceso a diferentes fuentes puede aumentar la probabilidad de adopción. Por ejemplo, durante la fase de alerta o conocimiento, los medios masivos de información han demostrado ser las fuentes más eficaces para acelerar el proceso, mientras que los medios grupales e individuales, tales como la capacitación, extensión y asistencia técnica son más eficaces durante la fase de experimentación y ajuste de las innovaciones. Del mismo modo, la experiencia y conocimiento acumulados por el agricultor, determinan la intensidad de uso y retención en la fase de adopción.

Por otra parte, se ha confirmado que la diseminación autónoma de nueva tecnología en el esquema agricultor-agricultor resulta ser la más eficaz y efectiva en costos para acelerar la adopción de innovaciones en la agricultura, aumentar la cobertura y asegurar su uso eficiente en el tiempo (Vejarano, 1984); (Nath & Misra, 1992); (Pulver, 2001); (Pulver, Rodríguez, & Carmona, 2007); (Ramírez, Oliveira, Silva, & Duque, 2006); (Ramírez, Duque, & Silva, 2007).

Marco referencial

La mayoría de las aplicaciones empíricas han enfatizado la medición de la velocidad y el nivel de adopción de innovaciones y la identificación de los factores que conducen a la adopción de la tecnología (Stoneman & David, 1986); (Lindner, Pardey, & Jarret, 1987); (Birkhauser, Evenson, & Feder, 1991); (Caswell, Flugie, Ingram, Jans, & Kascak, 1992); (Feder & Umali, 1993); (Aneani, Anchirinah, Asmoah, & Owusu-Ansah, 2012).

Griliches encontró que, el principal determinante de la adopción de tecnología en el maíz era la rentabilidad para el agricultor de la inversión en la tecnología (1957). Mansfield demostró que la velocidad de la adopción se relacionaba positivamente con la rentabilidad, pero argumentó que, el grado y nivel de adopción dependían, además, de otros atributos, tales como: la compatibilidad de la innovación con la dotación de recursos, la complejidad, la replicabilidad y observabilidad y la facilidad de imitación de la tecnología respecto a la tecnología tradicional (1961). Estos factores representan costos (monetarios y no monetarios) al adoptador potencial.

Numerosos estudios han documentado que, los factores que influyen la adopción de innovaciones en la agricultura se pueden clasificar en tres grandes grupos: socio-demográficas y culturales, económicos, y sociales. Dentro de estos se incluyen variables, como: edad del agricultor, composición y tamaño del familiar, nivel de educación y capacitación, localización geográfica y tamaño de la unidad productiva, tenencia de tierra, nivel de ingreso del productor, disponibilidad o acceso a servicios de información, crédito y mercados de productos y recursos, nivel de aversión al riesgo, características específicas de la

tecnología, nivel de participación del agricultor en organizaciones, entre otras variables del capital básico y social de las zonas rurales (Forero, Rojas, & Arguelles, 2013); (Fischer & Qaim, 2012); (Aneani, Anchirinah, Asmoah, & Owusu-Ansah, 2012); (Foster & Rozenzweig, 2010); (Romero, 2009); (Lee, 2005); (Doss, Mwangi, Verkuijl, & De Groote, 2003); (Adesino & Chianu, 2002); (Taher, 1996); (Feder & Umali, 1993); (Birkhauser, Evenson, & Feder, 1991); (Feder G., 1982).

Algunos pocos trabajos se han enfocado a entender el proceso de adopción de tecnología en agricultura (Lindner, Pardey & Jarret, 1987); (Marra, Pannell & Abadi, 2003). Estos confirmaron que la duración de las fases de adopción descritas por Rogers es una función de la aversión al riesgo, la incertidumbre sobre el desempeño técnico y financiero de la tecnología, y el nivel de aprendizaje del agricultor durante el conocimiento, prueba y adopción.

Según Abadi Ghadim, la utilidad o ganancia observada en la fase de adopción depende de la calidad de la información acumulada durante las primeras dos fases. Los agricultores mejor informados acerca de cómo usar eficientemente la tecnología, tienen mayores utilidades durante la fase de evaluación de la tecnología en su propia organización y, por tanto, la probabilidad de adopción continuada se incrementa (Abadi-Ghadim & Pannell, 1999). Otros factores que determinan la utilidad observada son los factores abióticos y bióticos, como las condiciones agroecológicas y la prevalencia de plagas y enfermedades en los sitios de producción. La heterogeneidad geográfica, agroecosistemas y condiciones climáticas (cambio climático) afectan las fases de evaluación y de adopción continua (Byerlee, Harrington & Winkelmann, 1982); (Doss, Mwangi, Verkuijl & De Groote, 2003). Estas restricciones juegan un papel determinante en la decisión de continuar adoptando la tecnología por productores inversionistas orientados al mercado y en menor grado por agricultores en economías campesinas y agricultura familiar.

En general, los PTT en países tropicales de África, Asia y Latinoamérica son réplicas de programas exitosos, como: a) el esquema de Entrenamiento y Visitas del Banco Mundial (T&V por su sigla en inglés); b) las Escuelas de Capacitación de Agricultores ECA de la FAO; c) la integración de la Investigación y la Extensión de las Universidades Públicas

Americanas (Land Grant Colleges); d) el Servicio de Chequeos de Fincas Arroceras de Australia (Rice Check); e) el Sistema de Agricultura por Contrato de Estados Unidos; y, f) el Sistema del Agricultor Líder de China (Village Leader), entre otros (Pulver, 2001). A su vez, cada uno de estos programas se caracteriza por seguir con intensidad distintos tipos de intervenciones, como: medios masivos de comunicación (radio, TV, Internet), medios grupales (ensayos o demostraciones en fincas, grupos de discusión, días de campo, cursos y conferencias) y medios individuales (asesoría técnica).

Las evaluaciones de estos PTT documentan las siguientes debilidades en su gestión: inestabilidad del personal técnico y administrativo; baja eficacia de la metodología de transferencia; falta de estrategias, objetivos, disciplina, control y evaluación en la ejecución; y débil retroalimentación de los agricultores y la extensión con la investigación; muy bajos efectos multiplicadores y altos costos por usuario (Byerlee, Harrington & Winkelmann, 1982); (Birkhauser, Evenson & Feder, 1991); (Caswell, Flugie, Ingram, Jans & Kascak, 1992); (Taher, 1996); (Pulver, 2001) (Lee, 2005); (Pulver, 2006).

Una de las nuevas hipótesis que se viene probando para entender la relación entre productividad y adopción establece que, la misma es positiva si el proceso de difusión es eficiente y demuestra que la tecnología es relevante para aumentar la productividad en los campos de los agricultores. Esta tesis tiene que ver con la eficacia de los PTT (Rhoades & Booth, 1982); (Monardes, Escobar & González, 1994); (Purcell & Anderson, 1997); (Feder & Umali, 1993); (Pulver, 2001).

Desde el trabajo de Rhoades & Booth se ha venido demostrando que los PTT son más exitosos cuando combinan diferentes estrategias y metodologías de difusión de innovaciones (Rhoades & Booth, 1982). Por ejemplo, el Fondo Latinoamericano de Arroz Riego - FLAR adelantó un programa “híbrido”⁴ de transferencia de tecnología para cerrar brechas de rendimientos entre agricultores de arroz que incluyó cuatro componentes: capacitación del personal científico, técnico

4. Este programa es una combinación de algunas de las estrategias y formas de organización de los programas más exitosos de transferencia de tecnología listados anteriormente

y los agricultores sobre prácticas genéticas y agronómicas para altas productividades⁵; investigación adaptativa y ensayos demostrativos en fincas de “agricultores líderes”⁶; organización de grupos de agricultores; y el establecimiento de un programa en red de intercambio de conocimientos entre diferentes asociaciones para aumentar la eficacia del programa y evitar la duplicidad de esfuerzos.

Los principales resultados de este PTT en un período de tiempo de tres años, fueron: altas tasas de adopción de las nuevas tecnologías asociadas al efecto multiplicador del método de difusión agricultor-agricultor; incrementos mayores a 1- 4 t ha-1 de arroz en fincas arroceras del sur de Brasil y Venezuela, y una reducción del 15% al 33% en el costo unitario de producción (Pulver, Rodríguez, & Carmona, 2007); (Ramírez, Oliveira, Duque, & Silva, 2006); (Ramírez, Duque, & Silva, 2007).

Bajo este marco teórico y referencial se puede concluir que la eficacia de los PTT, como instrumentos del cambio tecnológico, se puede postular como una función con dos argumentos: a) la eficiencia del proceso de difusión para acelerar el proceso de adopción y uso económicamente eficiente de la nueva tecnología por los agricultores, dados los objetivos, estrategias, organización, disciplina y metodologías para diseminar la nueva tecnología; b) la relevancia, pertinencia y congruencia de la tecnología para el agricultor adoptador con el fin de aumentar la productividad, reducir los costos unitarios de producción e incrementar la utilidad esperada de las inversiones en el producto y la nueva tecnología, dado el ambiente agroecológico, económico, social y cultural en el cual opera el agricultor. Mientras el primer argumento se refiere a la velocidad de la difusión de la nueva tecnología, el segundo tiene que ver con el grado o nivel de adopción por los agricultores de las innovaciones. Estos dos elementos del proceso son, a su vez, indicadores de la eficacia de los PTT.

-
5. Concepto tomado de los siguientes programas; “Investigación y Extensión” de las Universidades Americanas (LGC); “Visit and Training” del Banco Mundial; y “Escuelas de Capacitación de Agricultores ECA” de la FAO.
 6. El concepto de agricultor líder sigue el programa de transferencia conocido como “Village Leader” de China.

Marco metodológico para medir la eficacia del PTT de FEDECACAO

La eficacia del PPT se midió a través de dos estudios separados pero interdependientes: uno estimó la eficacia de la difusión y otro de la adopción de las 15 prácticas genéticas y agronómicas para altas productividades que se listan en la tabla 1).

Tabla 1. *Prácticas genéticas y agronómicas de manejo del cultivo de cacao recomendadas por el PTT de FEDECACAO para lograr altos rendimientos y calidad del grano en Rionegro, Santander*

Número	Tipo de manejo	Prácticas de manejo recomendadas
1	Genético	Establecimiento áreas nuevas de cacao con clones
2		Injertación de híbridos con clones (renovación de copa)
3		Siembra de clones en hileras
4		Siembra de modelos con clones específicos
5	Agronómico	Utilización de arreglos forestales con maderas en hileras
6		Arreglos forestales con cítricos o aguacate en hileras
7		Identificación y control de enfermedades y plagas
8		Identificación y control de Monilia
9		Identificación y control de escoba de bruja
10		Rehabilitación de plantaciones mediante podas
11		Podas de formación
12		Podas de mantenimiento

Número	Tipo de manejo	Prácticas de manejo recomendadas
13	Agronómico	Fertilización orgánica y química
14		Cosecha oportuna
15		Beneficio adecuado

Fuente: Elaboración de los autores con información de FEDECACAO.

El estudio de difusión se enfocó a medir la efectividad del PTT en la diseminación de las tecnologías. Al efecto se extrajo una muestra aleatoria estratificada por veredas, compuesta por 74 agricultores de un marco muestral de 604 agricultores⁷ quienes constituían la población de cultivadores de cacao residentes en 30 veredas, incluyendo 156 agricultores capacitados en las tecnologías por las ECA. La variable de muestreo fue el área de cacao de las fincas. Esto permitió evaluar: a) medir el grado de apropiación de la tecnología por los agricultores beneficiados por las ECA; y b) estimar las probabilidades de conocimiento, experimentación (prueba o validación) y adopción de la tecnología por nuevos agricultores de mantenerse las acciones actuales del PTT de la Federación.

El estudio de adopción, por su parte, se orientó a estimar la relevancia de las tecnologías del PTT. Al efecto se usó una muestra aleatoria simple de 59 agricultores de los 156 capacitados por las ECA en el período 2009-2012.⁸ Este enfoque permitió: a) medir el grado de

7.

$$N_i = \frac{(M_i * S_i)}{(\sum M_i * S_i)} * \frac{(\sum M_i^2 * S_i^2)}{[\sum M_i^2 * (E/4)^2 + \sum M_i * S_i^2]}$$

Donde: N = tamaño de la muestra en la vereda i; M_i = número de observaciones en la vereda i; S_i = desviación estándar del área en cacao en la vereda i; E= error de muestreo máximo permisible.

8. Para el cálculo del tamaño de la muestra se usó la fórmula:

$$N = \frac{Z^2 S^2}{(D X)^2}$$

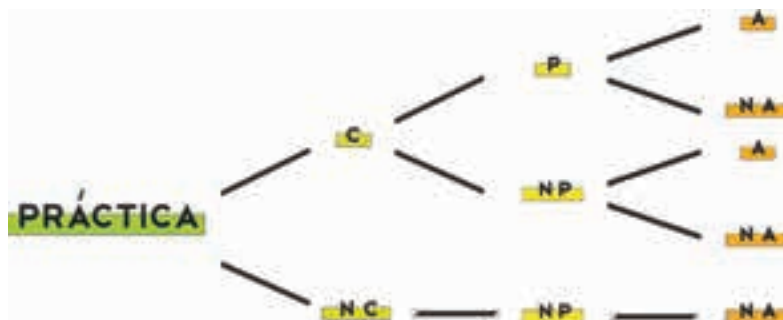
adopción de los agricultores capacitados por las ECA en sus propias unidades productivas; b) identificar los factores de tipo técnico y socio-económico que podrían afectar la probabilidad de adopción.

Métodos en el estudio de difusión

Para medir y analizar la eficacia de la difusión del PTT de la Federación, se adelantó un análisis bayesiano usando dendogramas de las probabilidades de adopción, a partir de las probabilidades conjuntas y condicionales de conocimiento, experimentación en fincas y adopción de las prácticas por un agricultor promedio (Anderson, Dillon & Hardaker, 1977).

El proceso de adopción es complejo. Como se ilustra en la figura 3, el nivel de adopción final involucra la toma de diferentes decisiones por los agricultores en un continuo a lo largo del proceso de difusión: desde el primer contacto con la tecnología hasta su incorporación y uso a escala en la finca. Aún después de adoptar una práctica el productor debe decidir sobre el nivel de uso más eficiente y si ampliar el área, mantenerla, reducirla o desadoptarla.

Figura 3. Dendograma de probabilidades de que un agricultor adopte o no las prácticas (A o NA) dado que las conoce o no (C o NC) y prueba o no (P o NP)



Fuente: Elaboración de los autores basados en (Ramírez, Oliveira, Silva & Duque, 2006).

Dónde: N = número de fincas en la muestra; Z = valor de Z al nivel de confianza seleccionado; S^2 = varianza de la variable de muestreo; D = error máximo permisible; y X = promedio de la variable de muestreo (área de la finca en ha).

La probabilidad de que un agricultor adopte una de las prácticas $P(A)$ es una probabilidad condicional. Es decir, depende de eventos múltiples, tales como si el agricultor conoce o no y prueba o no la tecnología. Esta probabilidad es la sumatoria de la probabilidad de que el agricultor adopte dado que conoce y experimenta $P(A/CE)$, más la probabilidad de que adopte, dado que conoce pero no experimenta $P(A/CNE)$. Es decir:

$$P(A) = P(A/CE) + P(A/CNE)$$

A su vez, $P(A/CE)$ es una probabilidad conjunta y se calcula como el producto de la probabilidad de que el productor conozca la práctica, $P(C)$, por la probabilidad de que experimente, dado que conoce $P(E/C)$, multiplicada por la probabilidad de que adopte, dado que conoce y experimenta $P(A/CE)$. Es decir:

$$P(A/CE) = P(C) \times P(E/C) \times P(A/CE)$$

Similarmente, $P(A/CNE)$ se calcula como el producto de que el agricultor conozca la práctica $P(C)$ por la probabilidad de que no experimente dado que conoce la práctica $P(NE/C)$, por la probabilidad de que adopte, dado que la conoce pero no la experimenta $P(A/CNE)$. Es decir:

$$P(A/CNE) = P(C) \times P(NE/C) \times P(A/CNE)$$

De otra parte, la probabilidad de que un agricultor no adopte una práctica $P(NA)$ es igual a $[1-P(A)]$ lo cual es equivalente a la sumatoria de la probabilidad de que no adopte porque no conoce $P(NA/NC)$, más la probabilidad de que no adopte aún si conoce y experimenta $P(NA/CE)$, más la probabilidad de que no adopte dado que conoce y no experimenta $P(NA/CNE)$.

$$\text{Es decir: } P(NA) = P(NA/NC) + P(NA/CE) + P(NA/CNE)$$

Métodos en el estudio de adopción

Este estudio estimó un modelo econométrico Logit como marco analítico para medir la eficacia en adopción del PTT. La forma de distri-

bución acumulada de la función logística para la variable dependiente, permite hacer una representación adecuada del comportamiento en adopción de nuevas prácticas tecnológicas por los agricultores y medir el efecto marginal de factores socioeconómicos seleccionados sobre la probabilidad de adopción. En este caso, la variable dependiente Y es binaria. Es decir, $Y = 1$ (si hay adopción), o $Y = 0$ (si no hay adopción). El cambio en la probabilidad de adopción de un agricultor dado un cambio en una variable independiente está asociado no solo con el coeficiente de regresión de esa variable, sino también, con los coeficientes de las demás variables explicatorias. La probabilidad de que un agricultor adopte está condicionada por uno o más factores que influyen sobre la decisión de adoptar.

En este caso la probabilidad condicional de que la adopción ocurra, se puede denotar como (Gujarati, 1978):

$$E(Y = 1 | X) \quad \text{para: } 0 \leq E(Y = 1 | X) \leq 1.$$

Dónde:

E = el valor esperado de la variable dependiente Y (probabilidad de que Y sea 1)

X = vector de variables independientes que explican el patrón de adopción.

Así, el modelo de regresión logística se define como (Gujarati, 1978); (Maddala, 1983):

$$E(Y = 1 | X) = F(\beta'X)$$

$$F(\beta'X) = [e^{\beta'X} / (1 + e^{\beta'X})] + \varepsilon, \quad \text{para: } 0 \leq F(\beta'X) \leq 1$$

Dónde:

F = distribución logística acumulada de probabilidad e = número neperiano

$$\beta'X = \sum^n \beta_i X + \varepsilon \quad \text{para: } i = 0, 1, \dots, n$$

β_i = coeficientes estimados de la regresión $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$

X = matriz de valores de las variables independientes o explicatorias $X_1, X_2, \dots, X_n$. ε = error aleatorio distribuido independientes e idénticos como $N(0, S^2)$

Análisis de los principales hallazgos

Efectos del PTT sobre el grado de apropiación de la tecnología por el agricultor

Conocimiento de la tecnología. La fase de conocimiento de la tecnología es la primera condición para que el agricultor tome la decisión de probarla o adoptarla en su finca. Por este indicador (tabla 2), el estudio documenta que el PTT de la Federación ha sido eficaz. En promedio, de los 76 cultivadores de cacao en la muestra, la mayoría (más del 75%) reportaron conocer cada una de las prácticas de manejo genético y agronómico recomendadas por el PTT. En este sentido, el Programa ha tenido un efecto de difusión muy positivo.

Las prácticas más conocidas por los productores eran en orden descendente: identificación y control de Escoba de Bruja (96%), identificación y control de monilia (95%) y podas de formación (95%). Las menos conocidas fueron: la injertación de híbridos con clones (79%), la renovación por cambio de copa (79%), siembra de clones en hileras (79%), siembra de modelos con clones específicos (76%) y utilización de arreglos forestales con maderas en hileras (76%). Este resultado sugiere que un alto número de los agricultores de la zona conocen el manejo sanitario y en menor proporción el manejo genético de los clones de cacao.

En términos de la efectividad del PTT en la divulgación de información sobre la tecnología a los agricultores, esta ha sido muy alta con una cobertura cercana al 87% de la población en la muestra.

Tabla 2. *Nivel de conocimiento, experimentación y adopción de las prácticas recomendadas por el PTT de FEDECACAO*

Tecnologías recomendadas	Nivel (%)		
	Conocimiento	Experimentación	Adopción
Establecimiento áreas nuevas de cacao con clones	86	71	68
Injertación de híbridos con clones, renovación de copa	79	63	50
Siembra de clones en hileras	79	67	67
Siembra de modelos con clones específicos	76	64	66
Utilización de arreglos forestales con maderas en hileras	76	62	54
Arreglos forestales con cítricos o aguacate en hileras	93	67	61
Rehabilitación de plantaciones mediante podas	83	71	72
Identificación y control de enfermedades y plagas	92	86	87
Identificación y control de monilia	95	93	92
Identificación y control de escoba de bruja	96	93	91
Podas de formación	95	89	87
Podas de mantenimiento	92	88	87
Fertilización	88	74	61
Cosecha oportuna	91	68	61
Beneficio adecuado	91	79	75

Fuente: Elaboración propia.

Experimentación de la tecnología. La segunda fase crítica del proceso normal de difusión es el ajuste o validación de las prácticas por los agricultores en sus propias fincas. Diferencias en la capacidad de los agricultores para asimilar la información sobre las nuevas prácticas, la aversión al riesgo y la necesidad de compatibilizar las nuevas recomendaciones técnicas con las condiciones agroecológicas y financieras de cada finca, usualmente obligan a los productores a probarlas en sus propios predios a fin de validar y ajustar las recomendaciones a las condiciones locales.

En este sentido, un indicador adicional de la eficiencia del proceso de difusión es el número relativo de agricultores de la muestra que realizan pruebas de las prácticas. De los 74 agricultores entrevistados, el 100% manifestaron haber ensayado al menos una de las prácticas. Como se observa en la tabla 2, el nivel de prueba de las prácticas es bastante alto (entre el 63% y 93%), con variaciones importantes entre prácticas de manejo del cultivo. La identificación y control de monilia (93%), la identificación y control de escoba de bruja (93%), las podas de formación (89%) y las podas de mantenimiento (88%) fueron las prácticas más evaluadas. Las prácticas menos ensayadas fueron: utilización de arreglos forestales con maderas en hileras (62%), lo cual, según los agricultores, se debe a la reciente promoción de sistemas agroforestales como alternativa del sistema productivo cacaotero. En segundo lugar, se encontró la injertación de híbridos con clones o renovación por cambio de copa (63%).

Adopción. Los indicadores del nivel de adopción se estimaron con relación al número total de agricultores en la muestra. Como lo ilustra la tabla 2, el 100% de los agricultores reportaron haber adoptado al menos una de las prácticas recomendadas. Las más adoptadas fueron: la identificación y control de monilia (92%), la identificación y control de escoba de bruja (91%), las podas de mantenimiento, las podas de formación y la identificación y control de enfermedades y plagas con un (87%). A su vez, las prácticas menos adoptadas fueron: la utilización de arreglos forestales con cítricos o aguacate en hileras (54%), y la injertación de híbridos con clones (50%). Como se observa, los niveles de adopción reportados variaron significativamente entre cada una de las prácticas, ubicándose en niveles intermedios a altos (mayores al 50%).

El hecho de que los rangos de adopción encontrados entre las prácticas fueran tan amplios (94% a 50%) confirma que, no todas las 15 prácticas fueron adoptadas por todos los agricultores. Este resultado es congruente con las tendencias observadas en los perfiles de conocimiento inicial y de prueba y adopción de las prácticas por los agricultores, y sugieren que, existe una tendencia decreciente en el efecto del PTT, desde el nivel de conocimiento de las prácticas, hacia los niveles de prueba y de adopción. En efecto, como lo ilustra la tabla 3, en su conjunto, del 100% de los agricultores en la muestra, el 69.5% las adoptaron de la siguiente manera: 69.3% lo hicieron después de probar la práctica y 0.2% adoptaron sin probarla.

Es decir, la proporción de agricultores que adoptaron previa evaluación era más alta que la de los agricultores que adoptaron sin previa experimentación, confirmando que hay un alto grado de aversión de los agricultores al riesgo de invertir en nueva tecnología que no haya sido validada antes a nivel de fincas. El nivel medio de adopción alcanzado se considera alto con relación a los estándares conocidos de adopción de prácticas tecnológicas y revela que el PTT de FEDECACAO ha sido exitoso por su eficaz contribución al conocimiento, experimentación y adopción de la nueva tecnología.

Tabla 3. *Perfiles de conocimiento, prueba y adopción por los agricultores de las tecnologías promovidas por el PTT de FEDECACAO*

Tecnologías recomendadas	CNPNA	CNPA	CPNA	CPA	NA
	%				
Siembras nuevas con clones	16	0	3	65	16
Injertación de híbridos con clones	16	0	12	39	33
Siembra de clones en hileras	11	0	1	66	22
Siembra de modelos con clones	11	1	0	64	24
Arreglos forestales con maderas en hilera	14	0	5	57	24
Arreglos forestales con cítricos o aguacate en hileras	26	0	5	52	17

Tecnologías recomendadas	CNPNA	CNPA	CPNA	CPA	NA
	%				
Rehabilitación de plantaciones mediante podas	9	1	1	70	19
Identificación y control de enfermedades y plagas	4	1	1	85	9
Identificación y control de monilia	1	0	1	91	7
Identificación y control de escoba de bruja	3	0	3	91	3
Podas de formación	5	0	3	84	8
Podas de mantenimiento	4	0	3	83	10
Fertilización	16	0	11	56	17
Cosecha oportuna	17	0	8	62	13
Beneficio adecuado	8	0	5	75	12
Promedio	10,7	0,2	4,1	69,3	15,7

Fuente: Elaboración propia. La suma de los porcentajes de cada fila es 100%.

- Nota: CNPNA= Agricultores que conocían, no probaron y no adoptaron.
- CNPA= Agricultores que conocían, no probaron y adoptaron.
- CPNA= Agricultores que conocían, probaron y no adoptaron.
- CPA= Agricultores que conocían, probaron y adoptaron.
- NA = Agricultores que no conocían, no probaron y no adoptaron.

Como se desprende de la tabla 3, la tasa de no adopción de prácticas por agricultores que las conocían y ensayaron fue muy baja (4,1%). La tasa promedia de agricultores que no adoptaron fue apenas del 15,7%. Aun así, la proporción de agricultores que no conocían la tecnología fue significativo (10,7%). Se resalta que, las tecnologías de manejo genético han sido las menos adoptadas por los agricultores. En contraste, las tasas más bajas de no adopción de prácticas de manejo agronómico de los clones, fueron: identificación y control de enfermedades (escoba de bruja (3%) y monilia (7%)); y podas de: formación (8%) y mantenimiento (10%).

Efectos del PTT sobre la probabilidad de adopción de la tecnología

La probabilidad de que un agricultor de cacao conozca, pruebe, y adopte una práctica innovadora es un indicador no solo de la eficacia actual, sino también de la eficacia esperada del PTT en el futuro. Esto último, bajo el supuesto de que el PTT se mantiene operando como en el pasado. Las probabilidades de adopción calculadas se registran en la tabla 4. Estas se estimaron con base en la información sobre el número de productores en la muestra que reportaron haber conocido, experimentado y adoptado o no las prácticas. En conjunto, para la zona de Rionegro, las prácticas individuales con mayores probabilidades de ser adoptadas en el futuro por un agricultor promedio son: identificación y control de monilia (92%) y de escoba de bruja (91%), seguida por las podas de formación (87%) y de mantenimiento (86%). Las probabilidades de adopción más bajas encontradas son: injertación de híbridos con renovación de copa (51%); arreglos forestales con maderas en hileras (57%), fertilización inorgánica (62%) y cosecha oportuna (62%).

Tabla 4. *Probabilidades de adopción de las tecnologías promovidas por el PTT de FEDECACAO en Rionegro, Santander*

Probabilidades condicionales y conjuntas (%)										
Tecnologías Recomen- dadas	(C)	(NC)	E	NE	(A/E)	(NA/E)	(A/NE)	(NA/ NE)	(A)	(NA)
01	87	13	82	18	96	4	0	100	68	32
02	79	21	80	20	81	19	0	100	51	49
03	79	21	85	15	98	2	11	89	67	33
04	76	24	84	16	100	0	11	89	66	34
05	76	24	81	19	91	9	0	100	57	43
06	93	7	72	28	92	8	0	100	62	38
07	83	17	87	13	98	2	0	88	71	29

Probabilidades condicionales y conjuntas (%)										
Tecnologías Recomen- dadas	(C)	(NC)	E	NE	(A/E)	(NA/E)	(A/NE)	(NA/ NE)	(A)	(NA)
08	92	8	94	6	98	2	25	75	87	13
09	95	5	99	1	99	1	0	100	92	8
10	96	4	97	3	97	3	0	100	91	9
11	95	5	94	6	97	3	0	100	87	13
12	92	8	96	4	97	3	0	100	86	14
13	88	12	82	18	85	15	0	100	62	38
14	91	9	77	23	89	11	0	100	62	38
15	91	9	88	12	93	7	0	100	75	25
% Promedio	88	12	87	13	94	6	3	96	72	28

Fuente: Elaboración propia.

Nota. C = Conoce; NC: No conoce; P Prueba; E= experimenta; NE= No experimenta; A/E= adopta y experimenta; NA/E= No adopta y experimenta; A/NE= Adopta y no experimenta; NA/NE= no adopta y no experimenta

Estos resultados son indicativos de las prioridades tecnológicas que un agricultor promedio en la zona de Rionegro tiene en respuesta a las acciones actuales de difusión de tecnologías del PTT. Se confirma el hecho de que la tecnología para el mantenimiento de la productividad (control de enfermedades, y podas) son las prácticas que tienen mayor probabilidad de adopción. En cambio, las tecnologías aumentadoras de la productividad (fertilización, renovación de plantaciones viejas de híbridos, y siembras nuevas de clones en arreglos forestales) fueron las menos atractivas para el agricultor.

Se debe resaltar igualmente la marcada influencia que tiene la experimentación y validación de la tecnología en la finca por el agricultor cacaotero de Rionegro, sobre la probabilidad de adopción. Por ejemplo, la probabilidad promedia de adopción de una tecnología dado que la

conoce y la prueba $P(A/CP)$ es del 94% y de que no adopte solo del 6%. Al contrario, la probabilidad de que un agricultor promedio adopte sin haber experimentado $P(A/CNP)$ es del 3%.

Efectos del PTT sobre el nivel de adopción de clones de cacao

La tabla 5 indica que, de los 59 agricultores capacitados en las ECA en la muestra, 57 tenían establecidos clones y solo 2 no habían sembrado clones. Es decir, el nivel de adopción es del 96,6%. El área media sembrada en clones encontrada en estas fincas fue de 2,4 ha con un coeficiente de variación (C.V) del 77,5%, una edad promedio de 4,84 años (C.V = 114,04%) y una población promedio de 2.277 árboles útiles por predio (C.V = 77,3%). Estos datos permiten inferir que: el efecto de las acciones del PTT de la Federación sobre la adopción ha sido muy importante en los últimos 5 años. Sin embargo, la amplitud del coeficiente de variación refleja el hecho de encontrar agricultores adoptadores de clones antes del 2007 o rezagados en la adopción pero no influenciados por la Federación.

La población promedio de árboles en clones era de 949 árboles de cacao ha^{-1} (C.V = 47,4%). Esta densidad de árboles se compara muy favorablemente con la población promedio de árboles en híbridos en las mismas fincas, la cual era de 706 árboles de cacao ha^{-1} (C.V = 39,37%). Sin embargo, la densidad de población de clones resulta inferior a la densidad de árboles meta de la Federación de 1.300 árboles ha^{-1} lo cual debe incidir en menores rendimientos de cacao por ha en las plantaciones establecidas.

Tabla 5. *Estadísticos descriptivos del área plantada y población de árboles de cacao existentes en híbridos y clones en las fincas de la muestra, 2012*

	N	Mínimo	Máximo	Media	D.E	C.V
Híbridos						
Área total (ha)	59	0,01	6,00	1,66	1,86	112,04
Edad promedia (año)	59	0,1	35	14,51	11,34	78,15
Árboles útiles total (#)	59	25	5000	1172	1465	125,00
Árboles útiles ha ⁻¹	59	25	1270	706	278	39,37
Clones						
Área total (ha)	57	0,01	8,00	2,40	1,86	77,50
Edad promedia (año)	57	0,1	12	4,84	5,52	114,04
Árboles útiles total (#)	57	25	7700	2277	1759	77.25
Árboles útiles ha ⁻¹	57	25	1265	949	322	33.91

Fuente: Elaboración propia. Otras variables como la productividad, ingreso, costos y ganancias no se reportan, ya que el objetivo central del estudio era medir el grado de adopción y uso de los clones de cacao. Sin embargo, este es un tema que se estaba investigando con la debida profundidad en otro estudio sobre eficiencia económica en la producción de cacao en Rionegro.

De acuerdo con estas evidencias que documentan un alto nivel de adopción de clones, los agricultores adoptadores se clasificaron en dos grupos: 1) Adoptadores influenciados por la Federación (identificados de aquí en adelante como *adoptadores directos*) y, 2) *Adoptadores indirectos* definidos como adoptadores no influenciados en forma directa por la Federación. Esta clasificación se siguió por dos razones principales: a) la necesidad de entender la influencia del PTT sobre la adopción de prácticas de manejo agronómico de los clones, algunas de las cuales se observó que estaban siendo aplicadas también por los agricultores en los cultivos de híbridos; y b) se encontraron adoptadores de clones con anterioridad al período de influencia de la Federación (2007-2012) así como adoptadores tardíos y rezagados de clones durante este período no influenciados por la Federación.

Con este fin, se siguió un procedimiento en dos etapas. En la primera, se seleccionaron como adoptadores influenciados por FEDE-CACAO, aquellos cultivadores que tenían el 25% o más del área total sembrada de cacao con alguno de los clones recomendados por FEDE-CACAO. Esta es la práctica usual en este tipo de estudios. Se ha encontrado que áreas sembradas en proporciones inferiores, generalmente corresponden a agricultores que están en la fase de observación y prueba y validación de la tecnología (Casley & Kumar, 1988); (Doss, 2006); (Foster & Rozenzweig, 2010).

La tabla 6 muestra la distribución percentil de los 57 agricultores que tenían clones según la proporción de la superficie sembrada con estos materiales. Se observa que por el criterio del percentil 25% de la proporción de la superficie sembrada de cacao en clones (grado de adopción), 54 agricultores de los cultivadores de la muestra se pueden clasificar como adoptadores tempranos y continuos, 3 como adoptadores indirectos y 2 como no adoptadores. En resumen, solo 5 de los 59 en la muestra se consideraron como adoptadores indirectos en sentido estricto y no adoptadores. Por tanto, el nivel de adopción de clones encontrado fue del 91,5%. Esta cifra es más alta que la encontrada en otros estudios sobre la adopción de materiales genéticos en cacao y otras actividades agrícolas y regiones. Por ejemplo, cacao (Aneani, Anchirinah, Asmoah & Owusu-Ansah, 2012); (Gockowski y otros, 2010); arroz (Asuming-Brempong, Marfo, Diagne, Wiredu, & Asuming-Boayke, 2011); maíz y trigo (Doss, Mwangi, Verkuijl & De Groote, 2003); ganado vacuno (Forero, Rojas & Arguelles, 2013).

Tabla 6. *Distribución percentil del número de agricultores que sembraron clones de cacao según la proporción de área sembrada y las fases de adopción en la muestra, N=57*

Percentiles	Número de agricultores N	Área media de siembra (ha)	Fase de adopción
<=10	0	0,04	Conocimiento
11-25	3	0,15	Experimentación
26-50	18	0,5	Temprana

Percentiles	Número de agricultores N	Área media de siembra (ha)	Fase de adopción
51-90	19	1,00	Continua
>90	17	1,00	Continua

Fuente: Elaboración propia.

En la segunda fase se identificaron los demás agricultores adoptadores indirectos, como aquellos no influenciados por el PTT de la Federación. Mediante un análisis de la velocidad de adopción de cada adoptador se aisló este grupo al examinar individualmente el efecto sobre la adopción de clones de las actividades de transferencia de FEDECACAO⁹ (período 2007-2012) de los de la difusión autónoma¹⁰, y de la experiencia propia del agricultor¹¹.

Al eliminarse los efectos confundidos que se generan en todo proceso de adopción del efecto neto del PTT de la Federación, se minimiza el problema de atribución¹² de las acciones de la Federación sobre la adopción de clones. Este efecto tiene en cuenta a los agricultores rezagados y aquellos que adoptaron clones antes del 2007 por acción de otros agentes de cambio. Así, se ajustó el nivel de adopción anterior por el número de agricultores tardíos y rezagados ubicados por encima del percentil 75% del tiempo relativo gastado en la adopción un indicador de la velocidad de adopción.

9. El efecto del PTT de la Federación se calculó como la relación entre la edad promedio de los clones con respecto a los años de existencia del componente de las ECA en la zona.

10. El efecto de difusión autónoma se estimó como la relación entre la edad promedio de los clones y la edad de la plantación de cacao.

11. El efecto de experiencia del agricultor se evaluó como la relación entre la edad promedio de los clones y los años de experiencia del agricultor en cacao.

12. Un problema de atribución se crea cuando todos los efectos, impactos y beneficios económicos de un proyecto de desarrollo tecnológico, se atribuyen solo al accionar de la principal institución ejecutora, sin tener en cuenta las acciones de las demás organizaciones socias del proyecto, incluyendo los agricultores mismos como beneficiarios.

Como se indica en la tabla 7, por el criterio del percentil 75% o mayor de la velocidad de adopción de cada efecto, se identificaron 22 agricultores adoptadores tardíos y rezagados, la mayoría de ellos adoptaron algunos clones introducidos antes del 2007. Estos agricultores se identificaron porque fueron afectados por los tres efectos simultáneamente. En consecuencia, el nivel de adopción medido por el número de adoptadores influenciados por la Federación y el proceso de difusión autónoma inducido, se estimó en 37 agricultores equivalentes al 62.7% de los agricultores de la muestra.

Tabla 7. *Distribución percentil del número de agricultores que sembraron clones de cacao, según la velocidad de adopción N=57*

Percentil (%)	Efecto difusión autónoma		Efecto PTT de FEDECACAO		Efecto experiencia del agricultor	
	#	Media (año)	#	Media (año)	#	Media (año)
10	4	0,1	6	0,2	7	0,15
11-25	15	0,7	6	0,8	8	0,73
26-50	11	1,4	19	1,75	18	1,4
51-75	7	3,3	9	3,99	19	3,9
>75	20	6,2	17	5,8	5	8,3

Fuente: Elaboración propia.

Factores socioeconómicos que afectan la adopción de tecnologías de cacao en Rionegro, Santander

En este estudio se estimó un modelo de regresión multivariado para variables dependientes binarias o dicotómicas, conocida como el modelo de regresión Logit. Para estimar la regresión se hicieron análisis exploratorios de los supuestos de normalidad y heterocedasticidad de las variables que en teoría y en la caracterización del agricultor, su

familia y finca (características sociodemográficas, dotación de recursos productivos, dotación de servicios de apoyo a la producción y la tecnología adoptada) se encontró que podrían tener poder explicatorio en el caso del cacao.

Selección de variables explicatorias de la adopción. La tabla 8 describe estadísticamente las variables seleccionadas inicialmente para explicar la adopción de clones. En la selección inicial se tomaron como referencia además de los principios teóricos, algunos estudios de adopción en cacao adelantados en Costa de Marfil, Ghana y Nigeria (Adesino & Chianu, 2002); (Nkamleu, Keho, Gockowski & Davis, 2007); (Davis y otros, 2010); (Aneani, Anchirinah, Asmoah & Owusu- Ansah, 2012). Otros estudios adelantados por el Centro Internacional del Maíz y Trigo CIMMYT en África también fueron examinados (Doss, Mwangi, Verkuijl & De Groote, 2003). Se usaron las siguientes pruebas estadísticas para controlar la calidad de los datos de las variables y hacer la selección: Levene’s (Homocedasticidad) y Smirnov-Kolgomorov (Normalidad). Las pruebas confirmaron estos supuestos para las variables sociodemográficas y de dotación de recursos que se presentan en la tabla 8

Tabla 8. *Descriptivos estadísticos de las variables seleccionadas como predictores potenciales de la adopción de clones en cacao, N= 59*

Variables	Total muestra N=59			Adoptadores directos N=37			Adoptadores indirectos y No Adoptadores N=22		
	Media	E.E	D.E	Media	E.E	D.E	Media	E.E	D.E
Edad agricultor (año)	51,12	1,63	12,5	51,65	2,11	12,8	50,23	2,61	12,31
Escolaridad (primaria, secundaria y superior)	1,69	0,16	1,2	1,95	0,24	1,5	1,27	0,01	0,46

Variables	Total muestra N=59			Adoptadores directos N=37			Adoptadores indirectos y No Adoptadores N=22		
	Media	E.E	D.E	Media	E.E	D.E	Media	E.E	D.E
Género (hombre / mujer)	1,24	0,06	0,4	1,27	0,74	0,5	1,18	0,08	0,40
Experiencia en cacao (año)	22,12	1,60	12,3	23,11	2,10	12,8	20,45	2,45	11,53
Acceso a crédito (Sí /No)	1,44	0,07	0,5	1,49	0,08	0,5	1,36	0,11	0,49
Precio cacao 2010 (\$ kg)	5064,3	85,75	641,7	5091*	85,9	508,4	5019	181,2	830,7
Precio cacao 2012 (\$ kg)	3616,9	69,91	537,0	3686	84,2	512,2	3501	121,3	569,0
Mano obra familiar (h-año) 2010	1,86	0,16	1,2	2,12**	0,21	1,42	1,27	0,72	0,87
Mano obra familiar (h-año) 2012	2,85	0,35	2,2	2,63*	0,42	1,73	3,26	0,46	2,42
Área finca 2012 (ha)	14,82	1,38	10,6	15,12*	1,7	10,1	14,3	2,5	11,62
Área cacao 2012 (ha)	4,16	0,31	2,4	3,64**	0,34	2,06	5,02	0,58	2,73
Área clones 2012 (ha)	2,44	0,24	1,8	2,61*	0,31	1,91	2,14	0,39	1,74
Control de monilia 2010 (Sí / No)	1,17	0,05	0,4	1,22	0,07	0,42	1,09	0,06	0,29
Control de monilia 2012 (Sí / No)	1,19	0,05	0,4	1,27*	0,08	0,45	1,05	0,05	0,21

Fuente: Elaboración propia. ** y * = Nivel de significancia $P < 0.05$, $P < 0.10$, and $P < 0.20$, respectivamente.

La tabla 9 exhibe los resultados del modelo de regresión logística Logit. El modelo tiene un poder predictivo alto (83,3%). La prueba de Chi cuadrado ($P < 0,10$) sugiere que las variables predictores tienen, en conjunto, un efecto aceptable sobre la probabilidad de adopción de clones. La prueba de Wald indica la contribución relativa de cada una de estas variables a la probabilidad de adopción y establece que, el tamaño del cultivo del cacao (4.531), la disponibilidad de mano de obra contratada (3,268), mano de obra familiar (3,146) y el precio del cacao (2,339) eran las variables que más han afectado la probabilidad de adopción de clones entre los agricultores de cacao de Rionegro.

La relación positiva y significativa ($P < 0,03$) entre el área cultivada en cacao y la probabilidad de adopción de clones indica que, los agricultores con plantaciones de cacao con mayor área cultivada, fueron los adoptadores más probables. Con base en el coeficiente exponencial Exp (β) estos cultivadores tienen dos veces más probabilidad de adoptar los clones y la tecnología asociada que los agricultores con pequeñas extensiones cultivadas.

Se encontró una asociación negativa y significativa ($P < 0,17$) entre el área ya establecida en clones y la probabilidad de adopción de nuevos clones. El efecto marginal sugiere que un agricultor que ya ha adoptado clones tiene apenas un 39,8% de probabilidad de sembrar nuevos clones. Esto alude a la necesidad de mantener y profundizar las acciones del PTT de FEDECACAO para garantizar que los clones ya establecidos expresen su potencial de productividad, calidad y tolerancia a enfermedades y se incentive al agricultor a intensificar la renovación de híbridos y aumentar el área sembrada con clones.

Así mismo, se encontró una relación negativa y significativa entre la disponibilidad de mano de obra familiar ($P < 0,076$) y la probabilidad de adopción de clones. El efecto marginal de esta variable indica que los agricultores con menos mano de obra familiar tienen solo un 60% de probabilidades de adoptar la tecnología que los agricultores que tienen un mayor número de familiares trabajando en la finca. Este resultado es similar a otros estudios en cacao realizados en África, en donde esta relación ha sido negativa (Adesino & Chianu, 2002); (Aneani, Anchirinah,

Asmoah & Owusu-Ansah, 2012); (Taher, 1996). Es evidente que la emigración de los integrantes de la familia a las zonas urbanas (trabajo, estudio) ha reducido el interés de las familias en esquemas de agricultura familiar por la adopción de clones.

En congruencia con el resultado anterior, se encontró una relación positiva y significativa entre la mano de obra contratada ($P < 0,071$) y la probabilidad de adopción de clones. El coeficiente exponencial de esta variable sustenta que, al margen, un agricultor de cacao de Rionegro que pueda contratar mano de obra tiene 170% más probabilidad de adoptar la tecnología de clones que un agricultor que no tenga acceso a este recurso.

Finalmente, se halló una relación negativa y significativa ($P < 0,124$) entre los bajos precios del cacao al agricultor registrados en el 2010 y la probabilidad de adopción, sugiriendo que los chances de adopción de los clones se reduce en situaciones de bajos precios del grano.

Tabla 9. *Estimadores de la regresión logística binaria para identificar factores que afectan la probabilidad de adopción de tecnología mejorada de cacao, en Rionegro, Santander, N= 59*

Variables explicatorias	Coeficiente Regresión β	E.E	Wald	Valor-P	Exp (β)
Edad agricultor (año)	0,004	0,043	0,011	0,918	1,004
Experiencia en cacao (año)	-0,019	0,046	0,164	0,686	0,981
Precio cacao 2010 (\$kg ⁻¹)	-0,001	0,001	2,339	0,126*	0,999
Precio cacao 2012 (\$kg ⁻¹)	-0,001	0,001	1,090	0,297	0,999
Mano obra familiar (hombre-año)	-0,911	0,513	3,146	0,076**	0,402
Mano obra contratada 2012 (hombre-año)	,555	0,307	3,268	0,071**	1,742

Variab explicatorias	Coe Regresión β	E.E	Wald	Valor-P	Exp (β)
Tamaño finca (ha)	-,073	0,059	1,513	0,219	0.930
Tamaño cultivo cacao (ha)	,758	0,356	4.531	0,033***	2,134
Tamaño cultivo clones (ha)	-,453	0,337	1,807	0,179*	0,636
Constante	1,820	5,839	1,794	0,180	2490,9

Fuente: Elaboración propia. ***, ** y * = Nivel de significancia $P < 0.05$, $P < 0.10$, and $P < 0.20$, respectivamente. β = Coeficientes de la regresión; *EE*, Error Estándar. Exp (β) = efecto exponencial. Logaritmo de la función de verosimilitud (-2 log likelihood) = 33,248; Valor de Chi Cuadrado = 11,182**; Casos predichos correctamente = 83,3%.

Conclusiones

1. Según el estudio de difusión, el PTT de FEDECACAO en la zona de Rionegro ha sido eficaz en impulsar la apropiación de las nuevas tecnologías de clones y agronómicas asociadas en arreglos agroforestales, por los agricultores.
2. Del análisis de los datos de 76 cultivadores de cacao en la muestra del estudio de difusión de las tecnologías se infiere:
 - Más del 75% conocían todas las prácticas de manejo genético de clones y agronómico recomendadas por el PTT. En este sentido, el Programa ha tenido un efecto de difusión muy positivo.
 - Más del 96% de los agricultores conocían las técnicas de manejo sanitario.
 - El 76% conocen el manejo genético de los clones.
 - De los 74 agricultores influenciados directamente por la Federación, el 100% manifestaron haber ensayado al menos una de las prácticas antes de su adopción. Es decir, había una alta propensión de experimentar las prácticas antes de su adopción continua.

- Las prácticas más experimentadas eran el manejo sanitario y las podas.
- Las prácticas menos ensayadas, la utilización de arreglos forestales con maderas en hileras (62%) y la injertación de híbridos con clones o renovación por cambio de copa (63%).
- El 100% de los agricultores reportaron haber adoptado al menos una de las prácticas recomendadas.
- La identificación y control de monilia (92%), escoba de bruja (91%) y las podas de mantenimiento y formación con un (87%) eran las prácticas más adoptadas.
- Las prácticas menos adoptadas fueron la utilización de arreglos forestales con cítricos o aguacate en hileras (54%), y la injertación de híbridos con clones (50%).
- El nivel promedio de adopción de las prácticas de manejo agronómico de los clones se estimó como bajo en 38,7%. Algunas de estas prácticas estaban siendo mal empleadas como fue el caso de la siembra de clones intercalados en los lotes de cacao híbrido, no en franjas e hileras.
- El efecto multiplicador del PTT encontrado fue muy bajo, definido por el número de agricultores que conocieron, ensayaron o adoptaron las diferentes prácticas a partir de otros agricultores como primeras fuentes de información.
- Se destaca que, las estrategias y métodos de difusión empleados en las actividades de asesoría técnica individual, extensión y ECA revelan que, el PTT local ha dado más énfasis a los medios individuales, que a los grupales y masivos de transferencia de la tecnología (Morantes, 2014).
- Así, el 64% de los agricultores se informaron de la nueva tecnología por primera vez por medio de asesores técnicos de diferentes instituciones (SENA, Corpoica y particulares), pero principalmente, a través de los técnicos del PTT (55% de los casos informados por técnicos de FEDECACAO).

- En contraste, el efecto de medios grupales (ECA, días de campo, demostraciones, cursos, seminarios y conferencias) y masivos (publicaciones, radio, TV, TIC) fueron bajos o nulos.
 - Esto confirma que, el técnico, ha sido el principal agente de cambio y multiplicador más importante de la tecnología por el PTT local y que, la relación técnico-agricultor, ha sido muy efectiva en la fase de información y aplicación de las prácticas.
 - Se encontró un nivel intermedio de participación de los agricultores (58%) en las ECA, lo cual indica la necesidad de una mayor promoción de estas.
 - El 66% de los agricultores reportaron no haber participado en los programas de asesoría técnica, extensión y campañas sanitarias en el 2009-2012 (Morantes, 2014). Esto confirma la baja cobertura de estos servicios.
3. Para la zona de Rionegro y de mantenerse las acciones del PTT actual:
- Las prácticas individuales con mayores probabilidades de ser adoptadas en el futuro por un agricultor promedio son: identificación y control de monilia (92%), escoba de bruja (91%), podas de formación (87%) y mantenimiento (86%).
 - Las probabilidades de adopción más bajas son: injertación de híbridos con renovación de copa (51%), arreglos forestales con maderas en hileras (57%), fertilización inorgánica y cosecha oportuna (62%).
4. Del análisis de la información de los 59 agricultores beneficiarios de las ECA entrevistados en el estudio de adopción de clones de cacao se concluye:
- El nivel de adopción de clones encontrado fue del 91,5% medido como la proporción del número de agricultores adoptadores de clones sobre el número total de agricultores de la muestra (ajustada esta cifra por el número de agricultores que conocieron, experimentaron y adoptaron clones antes del 2007).

- El grado de adopción de clones medido como el porcentaje del área sembrada en clones con respecto a la superficie total sembrada en cacao fue del 62,7%.
 - Estos resultados indican que, el programa ECA uno de los componentes del PTT de la Federación, ha sido muy eficaz en promover la adopción de clones.
 - El área media sembrada en clones por predio fue de 2,4 ha (C.V = 77,5%); edad promedio de 4,84 años (C.V = 114,04%); población promedio total de 2.277 árboles útiles por predio (C.V = 77,3%) y de 949 árboles de cacao ha⁻¹ (C.V = 47,4%).
 - Esta densidad de población de clones resultó inferior a la densidad de árboles meta de la Federación de 1.300 árboles ha⁻¹, pero superior a la densidad de 706 árboles ha⁻¹ (C.V = 39,37%) de los lotes sembrados con híbridos.
 - Este resultado sugiere que la productividad esperada por ha puede reducirse como efecto de la menor densidad de siembra.
5. Según el análisis Logit de la adopción se pudo establecer:
- La probabilidad de adopción de clones en el futuro en la zona de Rionegro, dependería fundamentalmente de variables que caracterizan la dotación de recursos y de servicios del agricultor como: la mano de obra, tierra, y acceso a los servicios de mercado por vía del precio.
 - Es decir, los factores que afectan la probabilidad de adopción y uso eficiente de las tecnologías para altas productividades como los clones responden a situaciones por fuera del control del agricultor como el precio, disponibilidad de mano de obra y acumulación de capital en área de cacao.
 - No se encontraron asociaciones significativas entre la probabilidad de adopción y variables descriptoras de las características sociodemográficas de los cultivadores de cacao, y del acceso a servicios de crédito y asistencia técnica.

- En la zona de Rionegro existe una alta propensión de los agricultores por experimentar la nueva tecnología previa a su adopción. Esto aumenta el costo de la información para el agricultor y hace más lento el proceso de adopción.
- Este comportamiento del cultivador de cacao refleja una alta aversión a los riesgos de pérdidas de la inversión en las nuevas tecnologías, principalmente las relacionadas con el correcto y oportuno manejo agronómico para lograr la máxima respuesta en productividad y calidad potencial de los clones.
- Este costo se puede interpretar como la prima contra el riesgo de pérdidas que el agricultor está dispuesto a pagar por tener más certeza sobre el desempeño del cultivo bajo la nueva tecnología.

Implicaciones de los resultados para el PTT de FEDECACAO

1. Bajo el marco teórico y referencial usado y los resultados de este estudio, se puede inferir que la eficacia del PTT de FEDECACAO, como instrumento del cambio tecnológico en la producción de cacao en grano en Rionegro ha dependido de:
 - a. La eficiencia del proceso de difusión para acelerar el proceso de adopción de la nueva tecnología por los agricultores, dados: los objetivos, estrategias, organización, disciplina y metodologías de los modelos y métodos para diseminar la nueva tecnología del PTT de la Federación.
 - b. La relevancia, pertinencia y congruencia de la tecnología en adopción para el agricultor con el fin de: aumentar la productividad y calidad del grano de cacao, reducir los costos unitarios e incrementar la utilidad esperada de las inversiones en la nueva tecnología, dado: el ambiente agroecológico, económico, social y cultural en el cual opera el agricultor.

2. El PTT de FEDECACAO, podría fortalecer aún más su eficacia actual intensificando esquemas de investigación adaptativa para el ajuste de la tecnología a nivel local, en alianzas con agricultores innovadores “líderes” en sus fincas, y con la participación activa de grupos de agricultores. Esto para impulsar los efectos multiplicadores en el esquema de difusión agricultor-agricultor. De este modo, la experimentación en fincas de agricultores, sería técnicamente y económicamente más relevante y pertinente y los ensayos se podrían usar para:
 - Cambiar la percepción actual del agricultor promedio de que las ganancias esperadas de la adopción de las nuevas prácticas, no compensan los costos y liquidez y los riesgos de adoptarlas, sin antes ensayarlas para ajustarlas a sus condiciones específicas.
 - Aumentar y mantener los niveles actuales de adopción.
 - Promover la adopción sin experimentación previa como estrategia para aumentar la efectividad en costos del PTT dentro de la población de adoptadores potenciales.
 - Ampliar la cobertura a muy bajo costo financiero para la Federación.
 - Definir como clientes directos de las acciones del PTT cultivadores de cacao que sean “líderes” como innovadores y experimentadores muy tempranos de la tecnología.
3. En consecuencia, el PTT requiere fortalecer sus recursos humanos, logísticos y estrategias de difusión, para: a) Ampliar la cobertura de los servicios del PTT con más agricultores informados y adoptadores tempranos de las nuevas tecnologías y beneficiarios del programa de compras de cacao; b) Asegurar que su manejo agronómico sea preciso, oportuno y en las cantidades de recursos requeridas; c) Reducir el costo para el agricultor y la institución misma, de la experimentación y ajuste de la tecnología previa a su adopción.

4. Estudios como el presente deberían extenderse para evaluar el impacto de la adopción sobre la productividad, calidad del grano y reducción de la incidencia y pérdidas producidas por plagas y enfermedades como monilia y escoba de bruja, entre otras, mediante procesos de investigación permanente en fincas de agricultores líderes o de tipos de fincas representativas, pero bien diferenciadas entre sí, de las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de las zonas cacaoteras. Esto permitiría generar información útil para la toma de decisiones relacionadas con el impacto de las actividades de investigación y transferencia de tecnología sobre los agricultores, la producción y competitividad del cultivo de cacao.
5. Los resultados del estudio demuestran:
 - En el cultivo de cacao se requiere ganar economías de tamaño en la operación del cultivo, lo cual se debe lograr con programas de acceso a más tierra por los microfundistas y minifundistas de la zona, quienes son la gran mayoría. Esto tendría un impacto importante sobre la productividad y reducción de los costos unitarios de producción actuales.
 - La demanda de mano de obra contratada viene aumentando en la zona, ante la tendencia decreciente en la disponibilidad de mano de obra familiar. Es decir, la adopción de clones ha estado restringida por la baja liquidez de los agricultores (una resultante de la caída de los precios relativos del cacao), y capacidad para pagar la mano de obra contratada (en efectivo) requerida en el establecimiento y manejo agronómico de clones.
 - De hecho, se ha estimado que el peso relativo de la mano de obra en los costos de producción varía entre el 31,5% y el 39,6% (Lerech & Santos, 2012).
 - La importancia de programas de crédito orientados a facilitar la contratación de la mano de obra requerida de manera oportuna.
6. Según el patrón de adopción de las nuevas prácticas (genéticas y agronómicas) en la zona, los cultivadores han dado mayor

prioridad a la adopción de tecnologías para mantener los rendimientos y en menor medida a las tecnologías para aumentar rendimientos. Esto incide en un menor rendimiento, pero es un comportamiento racional y congruente con la escasa dotación de recursos y servicios productivos encontrados en un agricultor promedio y el nivel de aversión al riesgo. Estas prácticas son empleadoras de mano de obra familiar, un recurso que tiene un costo de oportunidad bajo pero una alta retribución financiera si las prácticas efectivamente evitan o reducen las pérdidas de rendimiento.

Por su parte, la menor adopción de tecnologías aumentadoras de la productividad, como: siembras de cacao en modelos agroforestales, renovación de plantaciones con clones, y uso de fertilizantes inorgánicos, se explica porque estas tecnologías requieren de más capital de trabajo y de inversión y los cultivadores tuvieron severos problemas de liquidez por los bajos precios del cacao en el período 2010-2013 (Morantes, 2014). En consecuencia, y como lo confirma el modelo Logit, las menores tasas de adopción de estas tecnologías se encuentran asociadas a estos factores.

7. La adopción y uso parcial de las prácticas agronómicas debe incidir en menores incrementos de los rendimientos, calidad y sanidad potenciales del cultivo, dadas las interacciones entre estas, las cuales pueden retardar, disminuir o enmascarar el efecto de una práctica sobre la producción. Este concepto de manejo integrado del cultivo, requiere ser enfatizado en el futuro por medio de las ECA y de fincas demostrativas, como un requisito para cerrar las brechas de rendimiento entre el potencial de los clones y lo obtenido por el agricultor actualmente en su finca.
8. La alta adopción de clones y la baja adopción de las prácticas de manejo ha dependido más de factores económicos que sociales y técnicos. En efecto, no se encontraron evidencias empíricas sobre el efecto de factores, como: el nivel de educación, edad,

tamaño de la familia, grado de asociatividad, capacitación en las ECA, y la frecuencia de los contactos con la red de servicios técnicos de la Federación y otras instituciones.

9. Los resultados evidencian que se requiere revisar el Programa de crédito actual, a través de la Banca, a fin de transformarlo en un instrumento eficaz para mejorar la liquidez de los agricultores, y potenciar la introducción y adopción de la tecnología de clones y prácticas asociadas, articulando el crédito con la asesoría técnica, en un esquema de proyectos productivos integrados al mercado (Torres & Rodríguez, 2014) (Ashby, Quiros & Rivera, 1987).
10. El análisis económico-financiero de los costos y beneficios de la adopción de las nuevas tecnologías es un tema que requiere ser revisado. FEDECACAO necesita hacer un estudio sobre la economía para el agricultor de la adopción de los clones y sus prácticas agronómicas de manejo y probar la hipótesis de la relación entre eficacia del PTT y los efectos técnicos y económicos de las innovaciones a nivel de agricultores y sus unidades productivas.

Referencias

- Abadi-Ghadim, A.K., & Pannell, D.J. (1999). A Conceptual Framework of Adoption of an Agricultural Innovation. *Agricultural Economics*, 21(2), 145-154.
- Adesino, A.A., & Chianu, T. (2002). Determinants of Farmer's Adoption and Adaptation of Alley Farming Technology in Nigeria. *Agroforestry Systems*, 55(1), 99-112.
- Anderson, J.R., Dillon, J.L., & Hardaker, J.B. (1977). *Agricultural Decision Analysis*. Ames: Iowa State University Press.
- Aneani, F., Anchirinah, V.M., Asmoah, M., & Owusu-Ansah, F. (2012). Adoption of Some Cocoa Production Technologies by Cocoa Farmers in Ghana. *Sustainable Agricultural Research*, 1(1), 103-117.
- Ashby, J.A., Quiros, C.A., & Rivera, Y.M. (1987). *Farmer Participation in On-Farm Varietal Trials*. Cali, Colombia: CIAT.

- Asuming-Brempong, S., Marfo, K.A., Diagne, A., Wiredu, A.N., & Asuming-Boayke, (2011). The Exposure and Adoption of New Rice for Africa among Ghanaian Eice Farmers. *African Journal of Agricultura Research*, 6(27), 5911- 5917.
- Birkhauser, R.E., Evenson, R., & Feder, G. (1991). The economic impact of agricultural extension: a review. *Economic Development and Cultural Change*, 39(3), 607-650.
- Byerlee, D., & Hesse de Polanco, E. (1986). Farmer's stepwise adoption of technological innovations: evidence from Mexican Altiplano. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(1), 134-142.
- Byerlee, D., Harrington, L., & Winkelmann, D. L. (1982). *Farming Systems Research: Issues in Research Strategy and Technology Design*. Logan, Utah: AnnPaper Invited Meeting of the American Agricultural Economics Association August 1-4.
- Casley, D.J., & Kumar, K. (1988). *The Collection, Analysis, and Use of Monitoring and Evaluation Data*. Whashington D.C.: World Bank.
- Caswell, M., Flugie, K., Ingram, C., Jans, S., & Kascak, C. (1992). *Adoption of Agricultural Production Practices*. Whashington D.C.: USDA Area Studies Project Agricultural Economics Report 792.
- Davis, K., Nkonya, E., Kato, E., Ayalew, D., Odendo, M., Miiro, R., & Nkuba, J. (2010). *Impact of Farmer Field Schools on Productivity and Poverty in East Africa*. Whashington D.C.: IFPRI Discussion Paper.
- Doss, C.R. (2006). Analyzing Adoption of Technology Using Micro Studies: Limitations, Challenges and Opportunities for Improvement. *Agricultural Economics*, 34(3), 207-219.
- Doss, C.R., Mwangi, W., Verkuijl, H., & De Groote, H. (2003). *Adoption of Maize and Wheat Technologies in Eastern Africa: A Sinthesys of the Findings of 22 Case Studies*. México, D.F., México: CIMMYT.
- FAOSTAT. (2014, mayo 14). *FAOSTAT*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>
- Feder, G. (1982). Adoption of InterRelated Agricultural innovations: Complementarity and the impacts of risk, scale, and credit. *American Journal of Agricultural Economics*, 64(1), 94-101.
- Feder, G., & Umali, D.L. (1993). The Adoption of Agricultural Innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, 43(3-4), 215-239.

- Feder, G., Just, R.E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2), 33, 225-298.
- Feder, G., Just, R., & Zilberman, D. (1985). Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey. *Economic and Cultural Change*, 33(2), 204- 209.
- Fischer, E., & Qaim, M. (2012). Linking Small Farmers to Markets: Determinants and Impact of farmer Coolective Action in Kenya. *World Development*, 40(6), 1255-1268.
- Forero, C.A., Rojas, G.H., & Arguelles, J.H. (2013). Capital social y capital financiero en la adopción de tecnologías ganaderas en zonas rurales Altoandinas de Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(2), 149- 163.
- Foster, A. D., & Rozenzweig, M.R. (2010). Microeconomics of Technology Adoption. *Review of Economics*, (2), 395-424.
- Gockowski, J., Asamoah, C., David, S., Gyamfi, I., Agordorku, S., & Kumi, M. A. (2010). Evaluation of Farmer Field School Induced Changes in Ghanaian Cocoa Production. *Journal of Agricultural and Extension Education*, 17(3), 43-56.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica*, 25(4), 501-522.
- Gujarati, D. (1978). *Basic Econometrics*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company.
- Harper, J.K. (1990). Factors Influencing the Adoption of Insect Management Technology. *American Journal of Agricultural Economics*, 72(4), 997-1005.
- Lee, D.R. (2005). Agricultural Sustainability and Technology Adoption: Issues and Policies for Developing Countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 87(5), 1325-1334.
- Lerech, F., Santos, S. (2012). *Análisis ex ante de la rentabilidad de las inversiones en nuevas tecnologías en el cultivo de cacao*. (Tesis de grado) USTABUCA. Bucaramanga, Colombia.
- Lindner, R.K., Pardey, P.G., & Jarret, F.G. (1982). Distance to Information Source and the Time Lag to Early Adoption of Trace Element Fertilizers. *The Australian Journal of Agricultural Economics*, 26(2), 98-113.
- Maddala, G.S. (1983). *Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*. Cambridge, RU: Cambridge University Press.

- MADR, UN y CPCC. (2011). *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de cacao-chocolate en Colombia*. Bogotá, D.C.: MADR.
- Mansfield, E. (1961). Technical Change and the Rate of Imitation. *E conometrica*, 29(4), 741-766.
- Mansfield, E. (1968). *The Economics of Technological Change*. New York: W. W. Norton & Company Inc.
- Marra, M., Pannell, D.J., & Abadi, A. (2003). The Economics of Risk, Uncertainty and Learning in the Adoption of New Agricultural Technologies. *Agricultural Systems*, 75(2-3), 215-234.
- Morantes, I. G. (2014). *Estudio piloto sobre la difusión de tecnología mejorada para el cultivo de cacao en el municipio de Rionegro, Santander*. (Tesis de Grado Administración de Empresas Agropecuarias). USTA. Bucaramanga.
- Nath, N.C., & Misra, L. (1992). *Transfer of Technology In Indian Agriculture*. New Delhi: Indus Publishing Co.
- Nkamleu, G.B., Keho, Y., Gockowski, J., & Davis, S. (2007). Investing in Agrochemicals in the Cocoa Sector of Ivory Coast: Hypotheses, Evidence and Policy Implications. *African Journal of Agricultural Research*, 1(2), 145-166.
- Pulver, E. (2001). *Bridging the Irrigated Rice Yield Gap in Latin America: Assistance to Rice Growers Associations*. Cali, Colombia: CIAT-FLAR-CFC Project Proposal.
- Pulver, E., Rodríguez, T., & Carmona, L. (2007). *Bridging the Yield-Gap in Irrigated Rice in Rio Grande do Sul y Venezuela: Final CFC Project Report 2003-2006*. Cali, Colombia: Latin American Fund for Irrigated Rice FLAR.
- Purcell, D.L., & Anderson, J.R. (1997). *Agricultural Extension and Research: Achievements and Problems in National Systems*. Washington D.C.: World Bank.
- Rahm, M., & Huffman, W. (1984). The Adoption of Reduced Tillage: the Role of Human Capital and Other Variables. *American Journal of Agricultural Economics*, 66, 405-413.
- Ramírez, A., Oliveira, M.A., Duque, M.C., & Silva, J. (2006). *Difusión y adopción temprana de la tecnología CFC en Rio Grande do Sul*. Cali, Colombia: Proyecto Colaborativo CFC, CIAT, FLAR, IRGA.
- Ramírez, A., Duque, M.C., & Silva, J. (2007). *Difusión y adopción temprana de la tecnología CFC de arroz riego en Venezuela*. Cali, Colombia: Reporte Final. Convenio CFC-CIAT-FLAR-FUNDARROZ.

- Ramírez, A., Oliveira, M.A., Silva, J., & Duque, M.C. (2006). *Difusión y adopción temprana de la tecnología CFC en el Estado de Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre, Brasil: Informe Final FLAR-CFC-IRGA-CIAT.
- Rhoades, R.E., & Booth, R.H. (1982). Farmer-Back-To-Back Farmer: A Model for Generating Acceptable Agricultural Technology. *Agricultural Administration*, 11(2), 127-137.
- Rogers, E. (1962). *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press First Edition.
- Rogers, E. (1983). *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press Third Edition.
- Rogers, E.M., & Shoemaker, F.F. (1971). *Communication of Innovations: A Cross-Cultural Approach*. New York, NY: Free Press.
- Rojas, J.A. (2008). *Censo cacaotero Santander*. Bucaramanga: Federación Nacional de Cacaoteros - Fondo Nacional del Cacao.
- Romero, N.J. (2009). Características Socioeconómicas y nivel de adopción tecnológica en sistemas de producción porcícola del municipio de Fusagasugá, Cundinamarca. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 2(2), 37-43.
- Stoneman, P.L., & David, P.A. (1986). Adoption Subsidies vs. Information Provision as Instruments of Technology Policy. *Economic Journal*, 142-150.
- Taher, S. (1996). *Factors Influencing Small Holder Cocoa Production: A Management Analysis of Behavioral Decision-Making Processes of Technology Adoption and Application*. Wagenigen: Ph.D Thesis Wagenigen University.
- Torres, F.A., & Rodríguez, D.L. (2014). *Estudio piloto de la adopción de tecnología mejorada para producción de cacao en el municipio de Rionegro, Santander*. Bucaramanga: (Tesis de Grado), Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias USTA.
- Vejarano, G. (1984). Transferencia de tecnología en Centro América: El caso de Promecafé. En A. Monardes, G. Escobar, & G. González, *Transferencia de tecnología agropecuaria: de la generación de recomendaciones a la adopción* (pp. 81-99). Santiago de Chile: Red Internacional de Metodología de Investigación en Sistemas de producción RIMISP.

Innovación tecnológica en el agro. Experiencia de monitoreo preventivo y correctivo de suelos en cultivo de ají¹

José Agustín Gómez Corzo

Grupo de investigación en Administración de Empresas Agroindustriales USTAGRI Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias, Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga
Correo electrónico: jose.gomez02@ustabuca.edu.co

Mónica Andrea Rico Martínez

Grupo de investigación en Telecomunicaciones UNITEL
Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga
Correo electrónico: monik1911@hotmail.com

Sergio Andrés Zabala Vargas

Grupo de investigación en Telecomunicaciones UNITEL
Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga
Correo electrónico: sergio.zabala@ustabuca.edu.co

Yudy Natalia Flórez Ordóñez

Grupo de investigación en Telecomunicaciones UNITEL
Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones, Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga
Correo electrónico: dectele@ustabuca.edu.co

Introducción

El presente capítulo ilustra una contribución al estudio de las diferentes tecnologías inalámbricas y el desarrollo de aplicaciones que apoyan la

-
1. La experiencia presentada hace parte de los resultados del proyecto de investigación titulado “Sistema de monitoreo preventivo y correctivo inalámbrico de la capacidad de campo de suelo en un cultivo de ají”, realizado por el grupo de investigación UNITEL de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones y del grupo de investigación USTAGRI de la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga, 2016.

tecnificación del campo; permitiendo generar mayor valor al proceso. La aplicación y validación de la experiencia se lleva a cabo en los cultivos existentes en la finca El Limonal, propiedad de la Universidad Santo Tomás.

A grandes rasgos, el capítulo consiste en la elaboración de un sistema de monitoreo inalámbrico con fines preventivos y correctivos en un cultivo de ají. El término preventivo se vincula porque se logra la construcción de un dispositivo que toma la humedad relativa del suelo, es decir, mediante un tensiómetro se mide la capacidad de campo de suelo y posteriormente se envía por medio de un módulo de comunicación inalámbrica a un servidor donde una interfaz gráfica le indicará al agricultor una alerta de riego o secado para la óptima producción y calidad del cultivo. Correctivo, dado que en caso de que exista escasez de agua, el sistema se comunica con los métodos de riego instalados en cada uno de los bloques donde están las plántulas de ají y activa el riego.

Para presentar con mayor detalle esta iniciativa, el capítulo se subdivide en las siguientes secciones:

- **Contexto general de la propuesta:** Descripción general de la necesidad atendida por el proyecto y la metodología utilizada para su desarrollo.
- **Panorama general de los sistemas de monitoreo de variables ambientales y sistemas de fertirrigación:** Presentación de un contexto general y caracterización de la información referente a sistemas de monitoreo de variables agroambientales a nivel nacional e internacional.
- **Implementación de la solución:** Diseño y desarrollo del sistema de comunicación y monitoreo; así como el sistema de información para la visibilización de los resultados.
- **Resultados:** Discusión de resultados y conclusiones.

Contexto general de la propuesta

Necesidad detectada

El avance de la agricultura en Colombia ha sido lento, muchas veces fundamentado en procesos de prueba y error, donde las características ecológicas y culturales de cada lugar eran fundamentales (Contexto Ganadero, 2014). La agricultura en Colombia se caracteriza por los monocultivos tecnificados por región de caña de azúcar, café, flores, algodón, plátano, banano, sorgo, maíz, arroz, palma africana, papa y yuca, entre muchos otros; esto debido principalmente a la gran variedad de climas y terrenos.

Si se analiza con mayor detalle el área detecta que, principalmente los pequeños y medianos agricultores trabajan de forma empírica, en algunos cultivos las mediciones se toman mediante el método de la observación, lo que genera que los procesos agrícolas en Colombia no sean los más óptimos, sin menospreciar la técnica que actualmente se lleva. El sector es considerado, por muchos expertos, como uno de los más rezagados en términos de automatización en Colombia (La República, 2013).

En este orden de ideas, y referenciando el caso particular de la Universidad Santo Tomás, existen desarrollos innovadores en el sector agroambiental, como es el caso del proyecto “La Capsaicina como estimulante natural del sistema inmunológico en las aves de engorde”, ejecutado por los grupos de investigación de la Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias y la Facultad de Química Ambiental. Como una de las consecuencias de este proyecto se detectó la necesidad de un sistema de monitoreo para optimizar la producción y la calidad de ají picante que se generó en el proyecto; a través de la gestión correcta de la irrigación y el control de la humedad del cultivo (Universidad Santo Tomás, 2013).

Por esta última razón se planteó el interés de asociación para realizar en un cultivo de ají, ya que complementaría el proyecto mencionado y se aprovecharía la siembra del ají en la granja El Limonal de la USTA.

El proyecto parte de las siguientes preguntas de investigación ¿Cómo se puede tecnificar el proceso del cultivo de ají picante con el propósito de obtener una mejor calidad del producto? ¿Qué variables se deben monitorear para mejorar la producción de ají picante? ¿Cómo se puede mejorar el proceso de riego y fertilización del cultivo?

Este proyecto es importante, ya que permitirá al agricultor del cultivo de ají obtener los datos de manera inalámbrica de la humedad del suelo y dependiendo de la medida le permitirá tomar decisiones de riego o secado del cultivo. Además será una herramienta que ayude a saber las cantidades precisas de irrigación y fertilización del cultivo y del riego automático.

El proyecto se justifica desde el punto de vista técnico, ya que se crea una herramienta que mejorará los procesos de producción del cultivo y la calidad del producto del ají picante en Colombia, y desde lo investigativo, porque el sistema propuesto a futuro servirá como herramienta de observación, con el fin de conocer y correlacionar tiempos de fertilización del mismo cultivo.

El sistema de monitoreo y de fertirrigación propuesto será de utilidad para indicarle al agricultor cuándo empezar a irrigar, cuándo dejar de irrigar, para ahorrarle costos en labores tales como la irrigación de cultivos con aguas de un alto costo energético y fertilización, para mejorar los rendimientos de la cosecha, para mantener el control exacto de la humedad del suelo durante los experimentos del crecimiento de las plantas en el desarrollo de variedades superiores, para correlacionar los cambios fisiológicos de las plantas con los valores circundantes de la humedad del suelo, y para desarrollar prácticas efectivas de irrigación para la producción de los cultivos.

De igual forma, este proyecto posibilita la aplicación del sistema en otro tipo de cultivos y adicionar otras variables agroambientales al sistema, dependiendo del cultivo.

Planteamiento del problema y pregunta de investigación

Este proyecto se plantea desde una pregunta general en la agricultura colombiana y es ¿Están sistematizados los procesos agrícolas

en Colombia? Si se analiza la agricultura colombiana, sobre todo los pequeños y medianos agricultores, se observa que actualmente se trabaja de forma empírica, en algunos cultivos las mediciones se toman mediante el método de la observación, lo que genera que los procesos agrícolas en Colombia no sean los más óptimos, sin menospreciar la técnica que actualmente se lleva.

La evolución de la agricultura en Colombia ha sido lenta pero constante, basada en la experiencia y en los errores, en la que las características ecológicas y culturales de cada lugar eran fundamentales y había una estrecha relación entre las ciudades y el campo. Actualmente, según cifras oficiales de la Vicepresidencia de Colombia, 17.670 propietarios son dueños del 64% de todas las parcelas rurales existentes. En Colombia, la agricultura se caracteriza por los monocultivos tecnificados por región de caña de azúcar, café, flores, algodón, plátano, banano, sorgo, maíz, arroz, palma africana, papa y yuca, entre otros. Por la gran variedad de climas y terrenos Colombia presenta mucha diversidad de especies de fauna y flora para el consumo o utilización humana. Los agricultores colombianos se encuentran agremiados en la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC).

Sin embargo, la tecnificación de los procesos agrícolas en Colombia aún es incipiente, solo los grandes agricultores tienen tecnificados los procesos y todavía el Ministerio de Agricultura (2013) del país solicita a las universidades crear proyectos de investigación para tecnificar los procesos y mejorar la producción y calidad de los cultivos de mayor exportación. Partiendo de que hay una necesidad en el agro colombiano, se revisa que además de la necesidad exista un impacto con el proyecto y que tenga aplicabilidad. Se observó que la mayoría de los cultivos en Colombia no tenían un sistema de monitoreo que permitiera revisar las variables agroambientales que afectan directamente la producción y calidad del cultivo.

Por otra parte, se revisó que en las facultades de Administración Agropecuarias y Química Ambiental desarrollaron un proyecto que lleva como título “La capsaicina como estimulante natural del sistema inmunológico en las aves de engorde”, el cual necesitaba de un sistema

de monitoreo para optimizar la producción y la calidad de ají picante que se generó en el proyecto (Universidad Santo Tomás, 2014). Por esta última razón, el trabajo se planteó para realizarse en un cultivo de ají, debido a que complementaría el proyecto mencionado y se aprovecharía la siembra del Ají en la granja El Limonal de la USTA.

El proyecto parte de las siguientes preguntas de investigación ¿Cómo se puede tecnificar el proceso del cultivo de ají picante con el propósito de obtener una mejor calidad del producto? ¿Qué variables se deben monitorear para mejorar la producción de ají picante? ¿Cómo se puede mejorar el proceso de riego y fertilización del cultivo?

Objetivos de la iniciativa

El desarrollo de la experiencia del proyecto, plasmada en el presente capítulo, da cuenta del siguiente objetivo general:

Diseñar y desarrollar un sistema de monitoreo inalámbrico de la humedad relativa del suelo con fines preventivos y correctivos en un cultivo de ají, mediante la implementación de un sistema de información que permita además de llevar el monitoreo del cultivo, activar un sistema de fertirrigación en el mismo cultivo.

A su vez, para la consecución de esta meta se han determinado cinco objetivos, entre aspectos técnicos y metodológicos, que se presentan a continuación:

- Caracterizar la información referente a sistemas de monitoreo de variables agroambientales y a sistemas de fertirrigación en el ámbito nacional e internacional para diseñar el sistema propio.
- Diseñar y crear un dispositivo para convertir la señal análoga dada por el tensiómetro a una señal digital que pueda ser transmitida de forma inalámbrica.
- Caracterizar los sistemas de comunicaciones inalámbricas que sirvan para este tipo de aplicaciones con el fin de seleccionar el sistema que preste mejores características para el proyecto.

- Diseñar e implementar el sistema de comunicación inalámbrica entre los tensiómetros ubicados en el cultivo y el servidor remoto, y el servidor y el sistema de riego del cultivo.
- Desarrollar un sistema de información que permita monitorear la capacidad de campo de suelo en el cultivo de ají y a su vez indicar la cantidad exacta de mezclas químicas para irrigar el cultivo de forma inalámbrica².

Metodología general propuesta

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo mediante cuatro fases, enmarcadas en la metodología PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar), seguidas de un monitoreo y control que tuvo como meta la mejora continua de los procesos del proyecto.

En la fase de Planear, se establecieron los objetivos y procesos necesarios para lograr los resultados del proyecto de acuerdo con los requisitos de las partes interesadas, y se desarrollaron las siguientes etapas:

- Planeación de los objetivos del proyecto.
- Formulación del plan de trabajo y cronograma.

En la fase de Hacer o Implementar, se realizaron las acciones pertinentes para dar cumplimiento a los objetivos planeados en la fase anterior. En esta fase se desarrollaron las siguientes etapas:

- Caracterización de la información referente a sistemas de comunicación inalámbrica que permitan la aplicación del proyecto.
- Caracterización de los sistemas de fertirrigación, monitoreo de variables agroambientales en el ámbito nacional e internacional.
- Diseño y desarrollo del sistema de comunicación inalámbrica.
- Diseño y desarrollo del sistema de información del proyecto.

2. La información complementaria de los alcances del proyecto puede ser consultada en el documento referencial (UNITEL & USTAGRI, 2013).

En la fase de Verificación, se monitoreó y se midieron los procesos y productos (resultados) respecto de los objetivos y requisitos de las partes interesadas. En esta fase se encuentran las siguientes etapas.

- Pruebas al sistema de comunicación inalámbrica.
- Acople del sistema de información con el sistema de comunicación inalámbrica.
- Integración de resultados.

En la fase de Actuar, se evaluó la solución propuesta y se establecieron mejoras con proyectos futuros, con el fin de optimizar continuamente el desempeño de los procesos.

Marco conceptual de la propuesta. Breve revisión

A continuación se hará una descripción conceptual de los principales actores en el monitoreo de variables agroambientales y sistemas de fertirrigación.

Propiedades del suelo en relación con el tipo de cultivo

Afectan el crecimiento de las plantas las propiedades mecánicas del suelo, el contenido de agua, la difusión del oxígeno y del bióxido de carbono, la temperatura, la luz, la presión, entre otras. Los aspectos físicos del medio ambiente interno y externo del suelo pueden afectar todo el desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la maduración fisiológica.

Por esto, es importante conocer el microambiente de los cultivos, los procesos relacionados con sus cambios y la interacción continua entre la planta y su medio ambiente. Es decir, cómo se lleva a cabo el intercambio de agua, aire y calor entre el suelo y el medio ambiente externo, y qué función desempeña el agua, el aire, el calor y los nutrientes en el suelo, así como, la energía solar y el bióxido de carbono de la atmósfera en el proceso biológico de producción (Hillel, 2004).

Entre los subconceptos básicos que se deben tener en cuenta están:

- **Física del suelo:** La física de suelos estudia al conjunto de factores y procesos físicos que ocurren dentro del suelo y en su superficie, que son importantes para el crecimiento de las plantas, el manejo de suelo y agua y otras actividades que se llevan a cabo en los suelos agrícolas. A partir del conocimiento de la física de suelos y de la determinación de las propiedades físicas del suelo desarrolla técnicas que permitan modificar adecuadamente las condiciones del suelo para resolver problemas de producción de cultivos.
- **Manejo del suelo y agua:** La identificación de las necesidades de manejo de suelo y agua exigen tener el conocimiento claro de las condiciones físicas del suelo, ya que estas se pueden alterar fundamentalmente por actividades como la inversión del suelo por el arado profundo. Este tipo de técnicas puede alterar la característica total del perfil del suelo, la necesidad de riego y la fertilización de los cultivos que sobre él se desarrollen. Para mantener el contenido de agua del suelo en un nivel favorable para el crecimiento de la planta es necesario conocer la evapotranspiración de una superficie de terreno para determinar el contenido de agua correspondiente al nivel crítico, de acuerdo con el potencial de agua en el suelo para seleccionar la práctica de riego más adecuada (Hillel, 2004).
- **Estructura del suelo:** Desde el punto de vista morfológico, la estructura del suelo se define como la disposición de las partículas elementales (arena, limo y arcilla) (tabla 1) que forman añadidos de partículas compuestas y tienen propiedades diferentes de las de una masa igual de partículas elementales. En la tabla 1 (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004) presentan una clasificación general de las partículas del suelo.

Tabla 1. *Clasificación de las partículas de suelo*

	Sistema del Depto. de Agricultura de EE.UU.	Sistema Internacional
Fracción del Suelo	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00	
Arena gruesa	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
Arena Media	0.50 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.20 - 0.002
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

Fuente: Tomado de (Rucks et al., 2004).

Desde el punto de vista agrícola, tienen importancia dos propiedades del suelo; la capacidad estructural del suelo que se define como la capacidad para formar terrones espontáneamente y que se dividan en añadidos o granos sin la intervención del hombre; y la estabilidad estructural del suelo que es la capacidad que tienen los granos de mantener su forma cuando se humedecen y permitir el paso del agua y la entrada del aire conforme sale el agua. Estructuralmente un suelo bueno se desmorona con facilidad, no es difícil ararlo cuando está seco y no se vuelve pegajoso cuando se moja (Hillel, 2004).

La estructura del suelo no afecta directamente a las plantas sino a través de uno o más de los factores siguientes: aireación, compactación, relaciones de agua y temperatura. Hay cambios estacionales de estructura como consecuencia de las prácticas de laboreo del suelo, crecimiento de las plantas, irrigación, lluvia y prácticas de manejo.

Humedad del suelo

La presencia de agua suficiente en el suelo es vital para el crecimiento de las plantas, no solo porque estas necesitan de aquella para realizar sus procesos fisiológicos, sino también porque el agua contiene nutrientes en solución.

El suelo, desde el punto de vista hidrológico, es un depósito o almacén de agua cuya capacidad para retenerla y contenerla depende de sus propiedades físicas, como lo son: la textura del suelo, estructura del suelo, el peso o densidad de las partículas que forman el suelo, porosidad y permeabilidad.

Para muchos agricultores mantener el control de la humedad depende del tiempo climático, por ejemplo si es verano o primavera acostumbran aplicar un exceso de agua más de lo normal, esto puede ocasionar varios problemas para el cultivo como puede ser desperdicio de agua, lixiviación o extracción sólido-liquido de sustancias nutritivas del suelo y salinas en diferentes regiones (Maderrey & Jiménez, 2005).

Importancia del control de la humedad del suelo

Los excesos de agua en el suelo pueden tener consecuencias severas, tanto para el suelo como para los cultivos, entre estas se encuentran las mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. *Factores que influyen en la humedad del suelo*

La salinidad	La salinidad en los suelos es consecuencia de un drenaje deficiente, en los terrenos mal drenados se acumulan sales disueltas en el agua de riego, pudiendo salinizar la solución del suelo y dosificar el complejo de cambio. La salinidad tiene efectos negativos en la fisiología de las plantas.
Deficiencia de oxígeno	Cuando el oxígeno disponible disminuye, por el exceso de agua, por debajo de unos niveles que son distintos para cada planta, las raíces disminuyen su actividad fisiológica, con las siguientes repercusiones.
Alteración de las actividades microbianas y alteración en los aportes de nutrientes	Con la disminución del contenido de oxígeno la microflora desaparece gradualmente, siendo sustituida por organismos anaeróbicos que pueden influir en la disponibilidad de ciertos elementos, cuyo equilibrio es importante para la planta.

Problemas con las labores y el control de malezas	Trabajar en suelos con contenidos de humedad altos, en muchos suelos arcillosos origina la destrucción de agregados y dispersión de partículas de suelo.
Enfermedades y plagas	La humedad del suelo afecta de forma distinta a los agentes de enfermedades de las plantas, generando podredumbre, hongos e incluso enfermedades víricas.
Disminución de la productividad	Los niveles excesivamente altos de agua en el suelo, incluso de corta duración, pueden ejercer una influencia en la producción, dependiendo de las fases de desarrollo de las plantas en el momento en que se producen.

Fuente: (Castro, 2010).

Ahora bien, sobre el riego según la medida de la humedad del suelo, es posible indicar que muy pocas plantas pueden soportar una falta de agua durante un largo período, en el que se encuentran en estado de reposo vegetativo, pero la vuelta a su vida activa solo se puede realizar en presencia de agua. La forma más eficaz de determinar la fecha para iniciar el riego es medir o calcular el nivel de humedad del suelo. Una vez calculado la cantidad de humedad disponible en los cultivos en ciertos terrenos específicos se puede obtener con seguridad cuando es necesario el riego.

Existen numerosos métodos para medir o calcular la humedad del suelo, como lo son: método de medida de humedad al tacto, método gravimétrico, métodos que utilizan instrumentos como los tensiómetros, medidores de resistencia eléctrica, sonda de neutrones, etc.

La finalidad del riego es, pues, evitar una falta momentánea o permanente de agua, lo cual implica un perfecto conocimiento de las relaciones existentes entre la planta y el agua (Maderay & Jiménez, 2005).

Fertirrigación

La mayoría de los cultivos necesitan de una adecuada nutrición mineral que pueda garantizar la expresión genética de las diferentes especies y variedades. Una nutrición inadecuada o desproporcionada influye

desfavorablemente sobre los rendimientos y sobre la calidad de la cosecha. En algunos casos pueden producir retrasos indeseables en el ciclo productivo. Por tanto, el sistema de fertirrigación es, hoy en día, el método más racional que se dispone para realizar una fertilización (López, Cano, & Rodríguez, 2011).

El cultivo de ají presenta características muy particulares: es de rápido crecimiento, con un alto índice de acumulación de biomasa y con un sistema radical poco profundo; por lo que para lograr altos rendimientos es necesario utilizar sistemas de producción que garanticen un adecuado y oportuno aprovisionamiento de agua y nutrientes.

La tendencia de las nuevas tecnologías es de ofrecer agua y nutrientes a las plantas lo más cercano posible a su sistema radical, en un medio subsaturado; con la finalidad de minimizar las pérdidas, reducir los problemas ambientales y disminuir los costos de producción, lo cual es posible realizar con el empleo de la fertirrigación (Suniaga, Rodríguez, Ramirez, Romero, & Montilla, 2009).

En efecto, es importante resaltar que independientemente del sistema de irrigación utilizado en la fertirrigación, los nutrientes son aplicados diluidos en el agua de riego con el fin de infiltrarlo en el suelo, predominando la absorción radicular y no la foliar. Una adecuada dosis y frecuencia de fertirrigación, elimina situaciones de estrés y permite que la planta encuentre los nutrientes y el agua necesarios en el suelo con el mínimo costo energético. Este ahorro energético puede ser utilizado en una mejora en el rendimiento del cultivo. Simultáneamente, la localización de riego junto a criterios de aplicación de nutrientes se traduce en un mayor beneficio económico y ambiental.

Como resalta (Nuez, 1995), las principales ventajas de la fertirrigación son:

- Dosificación racional de los fertilizantes.
- Nutrición del cultivo optimizada y, por lo tanto, aumento de rendimientos y calidad de frutos.
- Control de la contaminación.

- Mayor eficacia y rentabilidad de los fertilizantes.
- Adaptación de los fertilizantes a un cultivo, sustrato, agua de riego y condiciones climáticas determinadas, durante todos y cada uno de los días del ciclo.
- Disminuye la compactación del suelo.
- La aplicación de nutrientes y agua es más precisa, localizada y controlada.
- La distribución de nutrientes se realiza conforme a las necesidades de la planta y en la forma química adecuada.
- Proporciona la solución nutritiva adecuada según el estadio fenológico del cultivo.
- Supone un ahorro de agua, nutrientes y mano de obra.
- El fertirriego es el único método correcto de aplicar fertilizantes a los cultivos de bajo riego.

Entre las desventajas de dicha metodología se consideran:

- Costo inicial en infraestructuras.
- Obstrucción de los goteros.
- Necesidad del manejo por personal especializado.

Sensores y red de comunicación de datos

En esta sección se presenta la descripción de dos elementos centrales en el desarrollo de la propuesta: (1) Sensores de medición de niveles de humedad o tensiómetro y (2) Los elementos principales de la red de comunicación de datos.

Tensiómetros

El tensiómetro es un instrumento que se utiliza para determinar la frecuencia de riego, basado en la medición del potencial matricial del agua en el suelo, o en términos simples el esfuerzo que realizan las raíces del cultivo para extraer del suelo la humedad que necesita. De modo

que el instrumento actúa como una raíz artificial. El tensiómetro mide la tensión o fuerza (indicada en centibares) con que el agua es retenida por el suelo. El valor de tensión medido se relaciona con un cierto contenido de agua disponible para las plantas. (Universidad Católica de Chile, 2012).

Entre los principales campos de aplicación de los tensiómetros se encuentra:

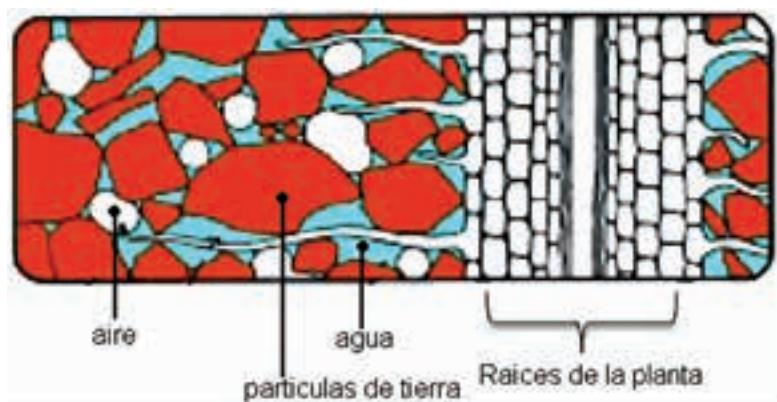
- **La agricultura:** Para indicar cuándo empezar a irrigar, cuando dejar de irrigar y para mejorar los rendimientos de las cosechas.
- **Investigación agronómica:** Para mantener el control exacto de la humedad del suelo durante los experimentos del crecimiento de las plantas en el desarrollo de variedades superiores, para correlacionar los cambios fisiológicos de las plantas con los valores circundantes de la humedad del suelo, para desarrollar prácticas efectivas de irrigación para la producción de los cultivos.
- **Hidrología:** Para medir el potencial de la humedad del suelo y así determinar el flujo de humedad del subsuelo, para verificar las condiciones apropiadas de humedad del suelo, para poder tomar muestras del agua de la zona insaturada de este, lo cual es vital para el control de la contaminación, y así proveer datos esenciales del cultivo.

En cuanto al funcionamiento del tensiómetro es importante comprender que debajo de la superficie del suelo, las partículas del suelo, el agua, aire, y las raíces de las plantas comparten el mismo lugar. En este ambiente el agua no se puede mover tan libremente como lo hace sobre la superficie, ya que se mantiene aprisionada al suelo, lo cual determinará cómo se moverá y cómo las raíces de las plantas pueden retirarse.

En la figura 1 se muestra cómo las partículas del suelo, agua, aire y raíces se entremezclan. El agua es naturalmente atraída a las partículas del suelo en donde se adhiere a cada partícula y en los espacios “capilares” o “poros” entre las partículas del suelo. Cuando el suelo está muy mojado, la mayoría de los poros grandes son llenados con agua y esta se puede mover libremente, por lo que puede ser fácilmente extraída por

las raíces de las plantas. Según se vaya secando el suelo, el agua restante es atrapada con más fuerza en los espacios capilares más pequeños (Soil Moisture Equipment, 2014).

Figura 1. *Estructura básica del suelo*



Fuente: Tomado de (Soil Moisture Equipment, 2014).

En la figura 2 se evidencia la fuerza creciente requerida para extraer el agua de los poros pequeños en comparación con los poros grandes, según el suelo se va secando. Por eso las plantas encuentran mayor dificultad para obtener el agua necesaria cuando el suelo se está secando. Cuando el agua restante se encuentra solamente en los espacios de los poros extremadamente pequeños, las plantas no pueden emplear suficiente fuerza para retenerla, por lo que las plantas se marchitan y mueren. Aun cuando pueda haber un volumen considerable de agua en el suelo, las plantas no van a poder extraerlo.

Figura 2. *Cavidades de aire que se originan en el suelo*



Fuente: Tomado de (Soil Moisture Equipment, 2014).

Los tensiómetros son los únicos instrumentos que pueden hacer una medida directa de la succión del suelo, la cual es la fuerza que las plantas tienen que superar para obtener el agua necesaria, y la fuerza que determina por cuál dirección se moverá el agua en el suelo. Un tensiómetro consiste en un tubo con una punta de cerámica porosa en la base, un manómetro cerca de la tapa y una cápsula de sellamiento. Cuando este es llenado con agua y se le inserta en el suelo, el agua se puede mover dentro y fuera del tensiómetro a través de los poros de la punta, tal y como se demuestra en la ilustración. Conforme se va secando el suelo y el agua se mueve hacia fuera del tensiómetro, se crea un vacío dentro del tensiómetro el cual es indicado en el manómetro. Cuando el vacío producido equivale a la succión del suelo, el agua deja de fluir fuera del tensiómetro. El manómetro entonces lo que está leyendo es una medida directa de la fuerza requerida para remover el agua del suelo. Si el suelo se seca más, más agua se moverá afuera hasta que se alcance un nivel de vacío más alto. Cuando se agrega agua al suelo, se lleva a cabo el proceso opuesto. El agua es devuelta al tensiómetro a través de los poros de la punta de cerámica hasta el nivel de vacío.

Para efectos del desarrollo del proyecto, la elección para el cultivo de ají se asocia a un tensiómetro que cumpla con las características y rangos propios del terreno y el tipo de cultivo.

Red de comunicación de datos

Para el desarrollo de la comunicación de datos provenientes del registro de las variables del cultivo, y fundamentado en las distancias medias (del orden de cientos de metros), del requerimiento de una comunicación de libre acceso y gestión propia, así como de la necesidad de contar con puntos de bajo consumo de energía; se propone la revisión del concepto de las redes de sensores inalámbricos (WSN).

A grandes rasgos, se considera a las redes de sensores inalámbricos como el agrupamiento, organizado de pequeños dispositivos que permiten realizar el registro, almacenamiento y transmisión de información; generalmente en esquemas multipunto. Este tipo de redes se caracteriza porque son auto configurables y por su facilidad de despliegue, además

porque ofrecen servicios de encaminamiento entre nodos sin línea de vista, capacidad de registrar datos pertinentes a los sensores locales de cada nodo y la gestión eficiente de energía haciendo que el sistema sea mucho más operativo (Fernández et al., 2010).

Cada uno de los nodos cuenta con elementos mínimos que lo caracterizan, como son: 1) procesador, 2) comunicación inalámbrica, 3) fuente de alimentación, 4) sensores y 5) memoria para el almacenamiento. Su diseño debe estar orientado a garantizar bajo consumo de energía, eficiencia en la transmisión de datos, seguridad en los datos, entre otros aspectos.

Existen varias topologías que pueden ser implementadas en aplicaciones de redes inalámbricas de sensores, por ejemplo: estrella, malla o híbrida (malla-estrella), cada una de estas topologías puede presentar una serie de desafíos ventajas o desventajas. La topología de la red hace referencia a la configuración de los componentes y cómo se transmiten los datos mediante esa configuración (Fernández et al., 2010).

La topología de estrella se caracteriza porque la información enviada solo da un salto, es decir, todos los nodos o motes tienen comunicación directa con la puerta de enlace. La distancia que existe entre los nodos y la puerta de enlace depende del alcance de cada punto en particular y los nodos finales no interactúan entre ellos, sino que utilizan la puerta de enlace para tal fin, si se requiere.

La topología malla utiliza una técnica de múltiples saltos, con la cual todos los nodos actúan como routers. Todos los nodos pueden enviar y recibir datos de otros nodos y de la gateway a diferencia de la topología estrella, que no permite que los nodos se envíen información. La topología híbrida permite combinar y sacar provecho de las ventajas de los dos tipos de tecnologías anteriores, como lo son la simplicidad y bajo consumo de la topología estrella así como la escalabilidad y la posibilidad de reorganizarse ante fallos de la topología malla³.

3. Para mayor detalle de esta temática se invita al lector a revisar la aplicación mostrada en (Zabala & Rincón, 2014).

Aproximación al estado de la técnica del proyecto

Un referente conceptual y del estado del arte de este capítulo es el presentado por (Mampentzidou, Karapistoli, & Economides, 2012); quienes dan cuenta de un conjunto de lineamientos o consideraciones fundamentales al momento de considerar un diseño de sistemas WSN para el monitoreo y control de variables agrícolas. Entre estos se destacan: 1. Definición del tipo de cultivo, tipo de terreno, características orográficas, variables por medir y área donde se realizará la medición. 2. Selección del *hardware* y *software* específico para el diseño del sistema de monitoreo. 3. Elección de la topología de red y estrategias de enrutamiento para los datos. 4. La selección del tipo y caracterización de los sensores específicos para las variables de interés. 5. La atención a los problemas de consumo de energía y estrategias de aumento de la vida útil del nodo. 6. Definición de estrategias de mantenimiento de la red, y 7. Selección de protocolos de seguridad.

Por otra parte, Ojha, Misra, & Raghuwanshi (2015) presentan una extensa disertación sobre la revisión de literatura de las redes de sensores inalámbricos en agricultura. En primera instancia establecen una clara diferenciación en los denominados Redes de sensores inalámbricos terrestres (TWSN) de los que se disponen en el subsuelo (UWSN). Los primeros de estos ubicados sobre terreno con distancias medidas de comunicación cercadas a los 100 m y con frecuencias de trabajo cercanas a los (900 MHz y 2.4 GHz). Los segundos (UWSN) con un alcance mucho menor (0.1 a 10 m), una frecuencia de operación más baja y dispuestos siempre en el subsuelo. Los autores proponen que la integración de ambas estrategias permite contar con sistemas de manejo de riego, sistema de monitoreo de cultivos, control de plagas, control de fertilizantes, monitoreo de agua del subsuelo, diagnósticos, entre otros. Finalmente, los autores proponen como aplicaciones futuras la inclusión de tecnologías como computación en la nube, análisis con Big data y la integración en el Internet de las Cosas (IoT).

Otra experiencia significativa y de interés para la tendencia investigativa del tema es la presentada por (Nikolidakis, Kandris,

Vergados, & Douligeris, 2015) quienes presentan la implementación específica de un nuevo protocolo de enrutamiento, denominado Sensor Networks (WSN), llamado ECHERP (Equalized Cluster Head Election Routing Protocol), que permite tomar registro de históricos y de condiciones ambientales para la gestión del riego en cultivos, con un bajo consumo energético y por ende una larga vida de operación de los nodos. Esta experiencia se ve complementada con lo propuesto por (Srbinovska, Gavrovski, Dimcev, Krkoleva, & Borozan, 2015) quienes integran una solución de bajo coste y protocolos de enrutamiento optimizados para contar con una aplicación válida en invernaderos.

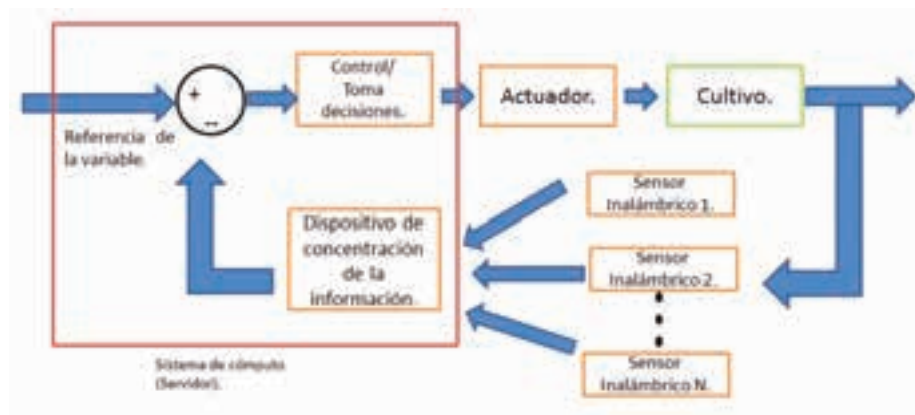
Diseño y desarrollo del sistema de comunicación inalámbrica

En este capítulo se justifica el funcionamiento, así como la descripción del diseño y el desarrollo del *hardware*, es decir, el enlace inalámbrico construido, desde el modelo para implementar, pasando por la adecuación de la señal hasta la configuración de cada uno de los componentes del sistema que se van a realizar.

Se describe además la adquisición de los datos, que en este proyecto hace referencia a la humedad del suelo, utilizando un tubo tensiométrico, un sensor y la tecnología Zigbee, en este capítulo se hace alusión especial a cada uno de los dispositivos que hacen parte de la red ad hoc desarrollada.

En la figura 3 se muestra el diagrama de bloques general, implementado en el proyecto, el cual es un esquema de lazo cerrado donde la planta (sistema por controlar) es el cultivo; el sensado se realiza a través de un conjunto de tensiómetros que envían la información a un dispositivo de concentración. La información de sensado se compara con la referencia, en este caso de variable de humedad que se desea establecer, para realizar la toma de decisiones y llevar a cabo la actuación, a través de un sistema hidráulico de bombeo.

Figura 3. Diagrama general de bloques de la solución



Fuente: Elaboración propia.

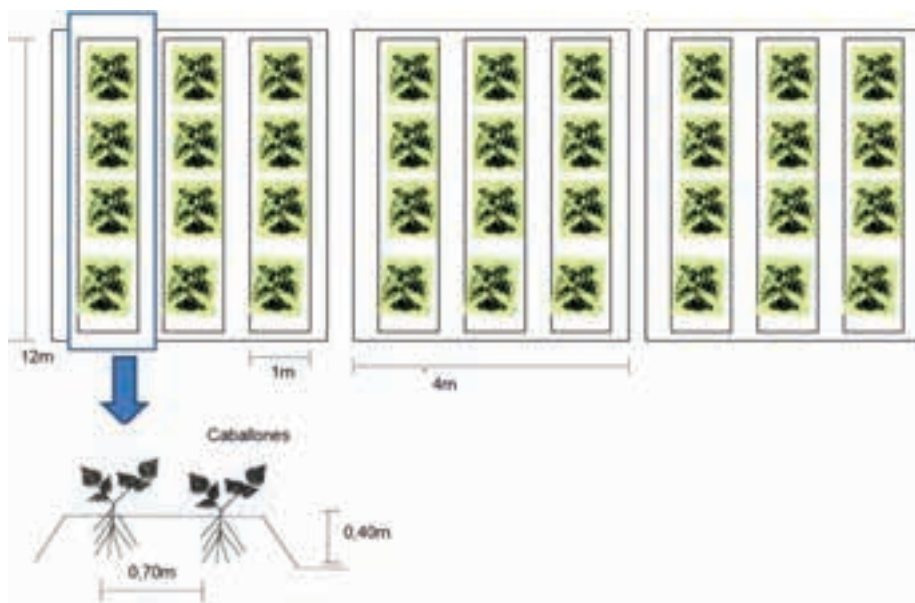
Descripción del modelo y red Zigbee por implementarse para la adquisición y envío de datos

Este proyecto se desarrolló en la finca “El Limonal”, en inmediaciones del municipio de Piedecuesta, Santander. Debido a las distancias entre la zona de cultivos y el centro de monitoreo y control, se propone una red de sensores inalámbricos para llevar a cabo el proyecto.

El cultivo de Ají sembrado utilizado tiene un período de crecimiento de 6 a 8 meses. Se sembraron tres variedades de ají, habanero, tabasco y jalapeño. Por la dinámica cambiante de los cultivos en la finca “El Limonal” se realizaron variaciones en la ubicación y extensión del terrero; contando también con ejercicios preliminares de validación sobre cultivos de tomate.

En la figura 4 se muestra las medidas que tiene cada cultivo y los caballones.

Figura 4. Plano del cultivo de ají y sus respectivas distancias



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se observa el cultivo real donde se hicieron pruebas preliminares.

Figura 5. Cultivo de pruebas



Fuente: Toma fotográfica del cultivo.

En la figura 6 se expone la ubicación de los tensiómetros, teniendo en cuenta que el terreno está expuesto a sombra o mayor luz solar, que la siembra se realiza por caballones y que las raíces de las plantas sembradas no alcanzan un metro de distancia entre cada una de las plantas, los tensiómetros deben ubicarse de manera estratégica para que cubran un radio mayor y así se conozca a cual caballón le hace falta agua.

El proyecto entonces consiste en un proceso de adquisición de datos correspondiente a las variaciones de humedad relativa del suelo, donde los datos provenientes del tensiómetro son enviados por medio de comunicación inalámbrica y son procesados mediante un *software* de gestión y visualización. Para cumplir con el requerimiento, se seleccionó Zigbee, entendida como la tecnología de comunicación inalámbrica referida al estándar 802.15.4; la cual es de estándar abierto, relativamente de bajo costo, bajo consumo de energía y de mayor alcance para las necesidades de campo abierto (área de cultivos) (Girod, 2012). A comparación con otras tecnologías tiene la facilidad de requerir componentes sencillos para su implementación, y su nivel de complejidad es simple.

Figura 6. *Plano de ubicación de los tensiómetros*

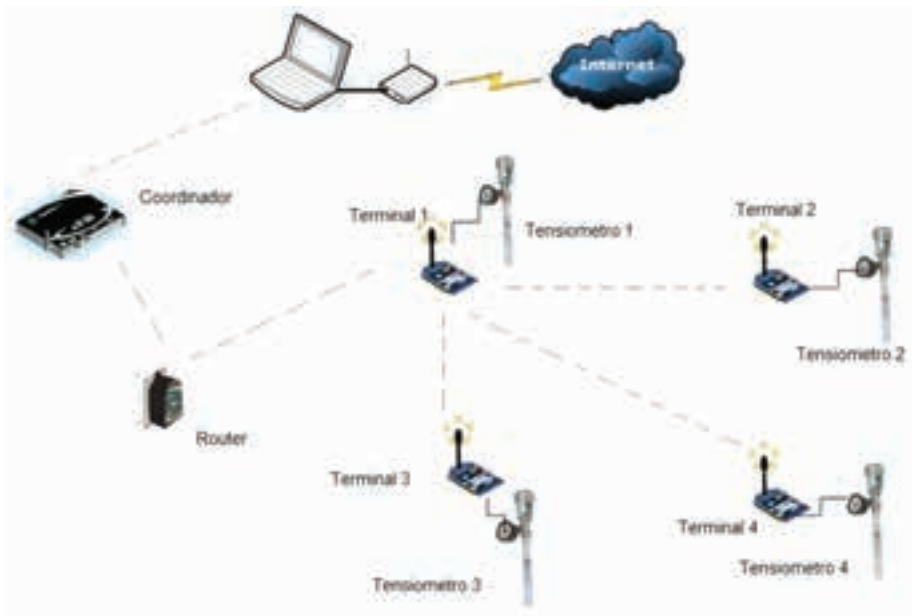


Fuente: Elaboración propia.

El modelo elaborado para la adquisición de datos consta de seis nodos (un coordinador o maestro, un router y cuatro terminales o esclavos) que se comunican inalámbricamente, el receptor está conectado por puerto USB al computador. El coordinador tiene la tarea de iniciar y mantener la red Zigbee, y de recibir los datos provenientes de los esclavos (terminales de recepción de la humedad relativa) para transferirlos al computador donde se realiza el procesamiento de los datos en el sistema de gestión.

Cada terminal tiene entradas y salidas análogas y digitales, lo que permite que la lectura que hace el tensiómetro en señal análoga sea convertida en señal digital y pase los valores por cada uno de los terminales. Por esta razón se hace especial alusión aquí que no hubo necesidad de construir un dispositivo adicional para adecuar la señal, debido a que esta es otra de las ventajas de la tecnología seleccionada, realiza la conversión de la señal análoga a señal digital. En la figura 7 se ilustra el modelo final presentado, acorde con los lineamientos propuestos por referentes reconocidos como (Faludi, 2012).

Figura 7. *Modelo final de la formación de la red Zigbee*



Fuente: Elaboración propia.

El sistema está diseñado para que el usuario ubique manualmente cada módulo en el cultivo, es decir, el sistema es portable para el usuario. Los sensores utilizados miden la humedad relativa, de forma periódica, esto es cada terminal se programa para hacer la medida en una hora específica, una vez realiza la medida vuelve al estado de ahorro de energía. El tráfico de datos que se moviliza en el proyecto es muy pequeño, por tanto es soportado por el ancho de banda de Zigbee sin congestión alguna. De otra parte, es un sistema que no requiere de mucha seguridad en el tráfico de datos, por tanto trabajar en la banda ISM libre no es ningún inconveniente.

Se propone una red de dispositivos XBEE-S2, la cual es debidamente ilustrada para mayor detalle en (DIGI, 2015), para llevar la lectura que arroja el sensor de humedad hacia el sistema de información. La red estará constituida por un coordinador, dos enrutadores que servirán de enlace y los dispositivos finales que se requieren en la zona del cultivo.

Los módulos XBEE-S2 tienen un alcance de 1.6km en línea de vista o 100 m en ambientes con obstáculos, pueden ser programados con el rol que se requiera (coordinador, enrutador o dispositivo final).

Ubicación espacial de los equipos en campo

En la finca El Limonal se ha dispuesto un punto de concentración para la información asociado al aula de docentes que allí existe. En la figura 8 se puede apreciar la ubicación y el camino marcado (en azul) del aula de docentes hasta el cultivo donde van a estar ubicados los sensores.

Figura 8. *Imagen satelital distancia punto de concentración a punto de monitoreo*



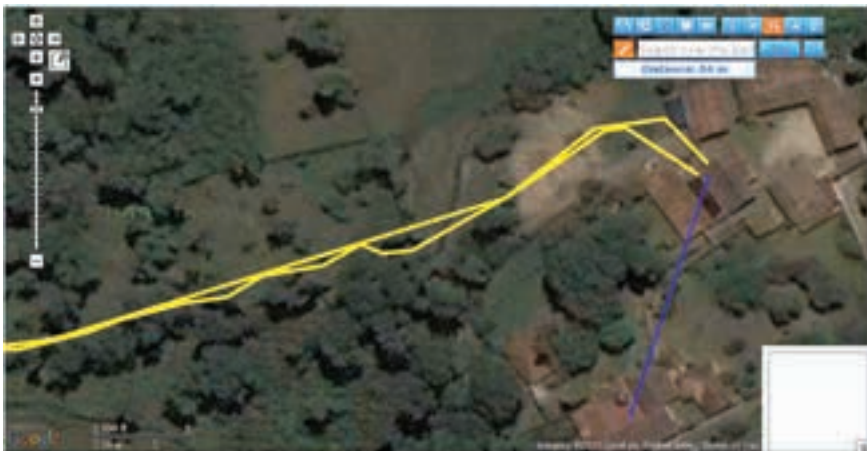
Fuente: Elaboración propia.

La distancia lineal entre estos dos puntos (concentración y monitoreo) es de aproximadamente 430 metros en línea recta, el terreno se caracteriza por tener una leve inclinación, quedando la zona del cultivo unos 25 metros por debajo del aula (punto de concentración). En el momento en que se desarrolla este trabajo, no existe línea de vista desde ningún punto del área construida hacia el cultivo, también hay una gran abundancia de vegetación y árboles altos entre los dos puntos.

En términos generales, la red estará constituida por un *coordinador* en el aula donde funcionara el sistema de información, dos *enrutadores* que servirán de enlace y los *dispositivos finales* que se requieren en la zona del cultivo. Para el control de válvulas de riego se propone la ubicación en campo de un módulo enrutador que controle el accionamiento de estas por medio de comandos desde el coordinador.

El elemento central de la red que va a suministrar los datos que llegan a través de la red de sensores al sistema de información es el *coordinador*, quien estará ubicado en el aula de docentes, al lado del equipo de cómputo que aloje el sistema de información. Se pondrá un *enrutador* sobre el tejado del salón más próximo al cultivo. La distancia entre el aula de profesores y este salón es de 85 metros aproximadamente, y teniendo en cuenta que el dispositivo *coordinador* va dentro del salón, existen obstáculos entre los dos dispositivos.

Figura 9. Distancia desde el coordinador hasta el enrutador más cercano al cultivo



Fuente: Elaboración propia.

Del *primer enrutador*, se establece un enlace con un *segundo enrutador*, ubicado sobre el camino hacia los cultivos, en el punto donde el nivel de recepción de la señal empezó a atenuarse. La distancia entre los dos dispositivos es de 230 metros aproximadamente, aunque no existen paredes en el camino, sí existe un número importante de árboles y arbustos que impiden una buena línea de vista.

Actualmente no se cuenta con suministro de electricidad en este punto, por lo que el dispositivo enrutador fue alimentado con una batería. Cabe resaltar que para la implementación final del proyecto, se precisa contar con un punto de energía que alimente el enrutador, ya que este dispositivo debe estar encendido constantemente y en el caso de implementarlo a baterías, la agotaría rápidamente. La alternativa propuesta ha sido utilizar el sistema de alimentación por energía solar para recarga de batería y el mejoramiento en la gestión de esta, que es presentado en (Zabala & Rincón, 2014). Por último, los *dispositivos finales* que van ubicados en el cultivo, se enlazarán al enrutador más cercano y lo utilizarán como Gateway para enviar la información de sus respectivos sensores hacia el coordinador.

La distancia entre el dispositivo final implementado en el desarrollo del proyecto y el enrutador es de aproximadamente 150 metros. Existe vegetación, árboles y una piedra voluminosa entre los dispositivos. Además, se observa, que los dispositivos finales deben quedar en el montaje final a menos de un metro de la superficie para que el medidor se pueda instalar en el cultivo. Todo esto reduce el alcance de los radios.

Actualmente en el punto del cultivo existe un sistema de riego por goteo de activación manual, en el cual se debería implementar un último enrutador, el cual tendría como tarea adicional el accionamiento de un relevo para que controle una válvula eléctrica que permita o corte el suministro de riego hacia el cultivo. Así, en este punto, también se debe contar con un punto de energía eléctrica para alimentar tanto el radio como la válvula. Es posible tener dispositivos finales en diferentes cultivos dentro del área de cobertura de los enrutadores. Por medio de la identificación del origen del paquete se puede determinar qué módulo está enviando la trama y este en qué punto se encuentra.

El equipo de medición se ha compuesto por un radio XBEE-PRO-S2, un medidor electrónico de humedad (tensiómetro) con sensor MPX2102. Debido a que la instalación de este dispositivo depende de factores propios del cultivo, debe ser portable, resistente a la intemperie y operado por batería.

Dispositivos electrónicos implementados

Para efectos del presente documento sus autores han decidido no hacer un énfasis tan detallado en la electrónica utilizada, sin embargo, se presentarán gráficamente las tarjetas utilizadas en el prototipo. Para el router se ha implementado la tarjeta mostrada en la figura 10 (esquemático e imagen real de la misma). Toda la electrónica adicional mostrada al sistema del radio Xbee-Pro-S2 es la requerida para su funcionamiento; así como para la gestión de energía.

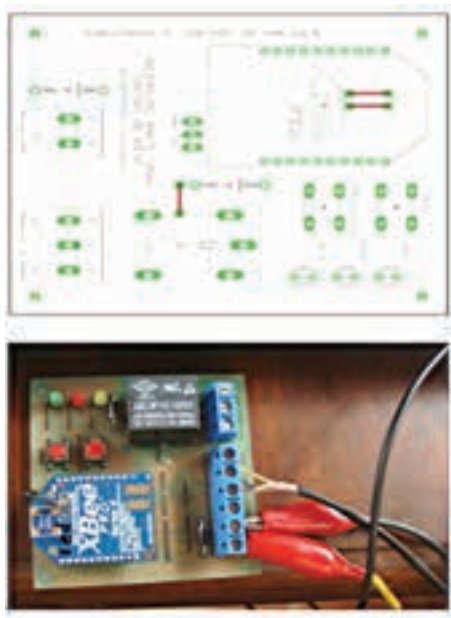
Figura 10. *Esquemático y tarjeta real módulo router*



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente módulo, de mayor complejidad que el anterior, cumple la función no solo de comunicación sino de control al sistema de actuación (válvula). El mismo cuenta con indicadores de referencia y pulsadores para su configuración. Este es mostrado en la figura 11.

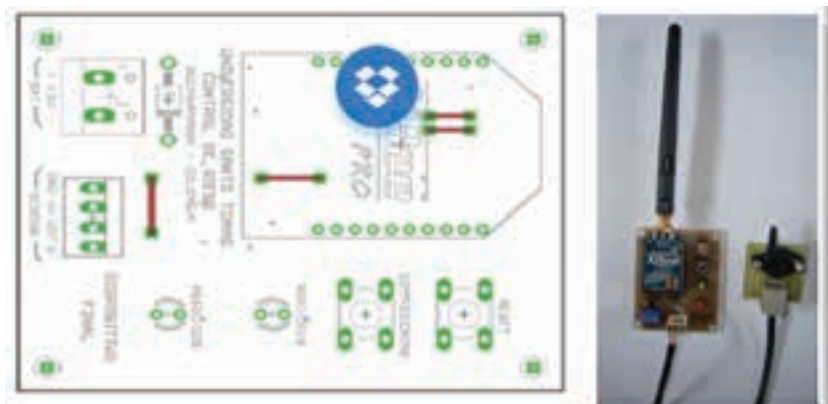
Figura 11. *Esquemático y tarjeta real del módulo de control*



Fuente: Elaboración propia.

La tercera tarjeta se asocia al dispositivo final de monitoreo, el cual además de contar con la capacidad de transmitir en la comunicación seleccionada, cuenta con la conexión al sistema de sensado y a la alimentación por energía solar figura 12.

Figura 12. *Esquemático y tarjeta real. Dispositivo de monitoreo y sensor*



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la figura 13 se muestra un ejemplo de dispositivo final instalado en campo, contando con carcasa con protección a condiciones ambientales. La misma se ha podido validar en diferentes condiciones climáticas manteniendo en operación la red establecida.

Figura 13. *Nodos de medición en carcasa resistente a cambios climáticos*



Fuente: Elaboración propia.

Transmisión a la red pública a través de telefonía móvil celular

Se ha propuesto un esquema adicional al diseño que recurre a la tecnología móvil celular GSM/GPRS para llevar los datos a la red pública de información y poder visualizarlos en un servidor externo. La propuesta de este diseño es mostrada, como diagrama de bloques, en la figura 14.

Figura 14. *Diagrama general de bloques del proyecto*



Fuente: Elaboración propia.

El dispositivo elegido para la conversión y transmisión de datos es la integración entre un módulo Arduino One y un GSM/GPRS Shield; fabricado por la empresa Seeedstudio. Información más detallada del módulo se encuentra en (Seeedstudio, 2015).

Figura 15. *Shield GSM/GPRSv2*



Fuente: Tomado de (Seeedstudio, 2015).

Finalmente, en la siguiente sección se presentan elementos generales del aplicativo *software* desarrollado, que complementa el sistema, el cual permite el seguimiento de la variable o variables de interés y el seguimiento del estado del actuador.

Diseño del *software* para gestión de la información del proyecto

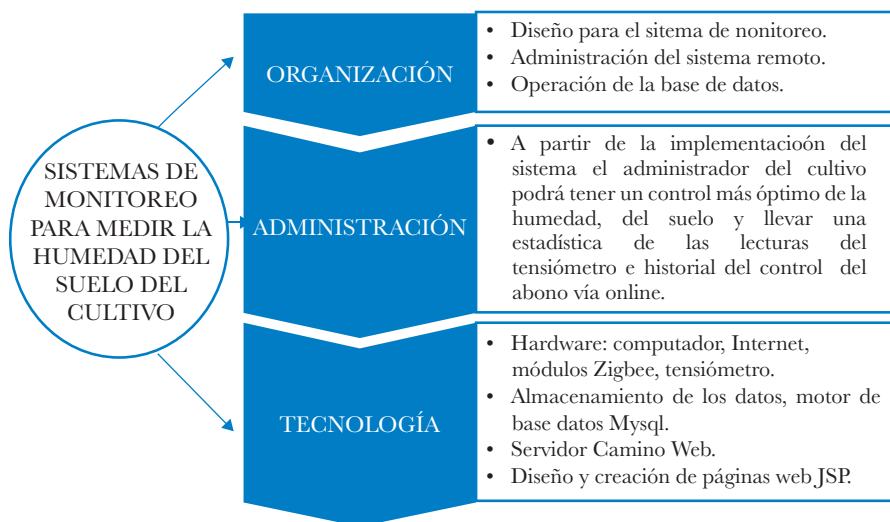
El proyecto cuenta con aplicativo *software* que permite llevar a cabo funciones de visualización, registro, configuración y análisis de información. Entre las características de este sistema de información se encuentra:

- El sistema remoto arroja los valores vía GPRS, el cual es almacenado en la base de datos, el sistema estará manejado por un operador y un administrador, donde el operador puede ver los registros de los nuevos usuarios y los valores adquiridos, y llevará un monitoreo para su posterior control del cultivo de ají.

- El administrador tiene acceso a la base de datos para consultar, tanto los usuarios registrados como los datos que han sido medidos, y podrá disponer los tipos de variables.
- Finalmente, el sistema de información se actualiza de acuerdo con los cambios que presente, como: el tipo de variables, manejo del proceso del sistema remoto con la comunicación inalámbrica, entre otros.

En la figura 16 se aprecia el esquema general de la aplicación que se implementó para el control de la humedad del suelo del cultivo de ají, teniendo en cuenta la información que contiene el sistema sobre una organización y su entorno, la cual se divide en organización, administración y tecnología.

Figura 16. *Administración, organización y tecnología que implementa el software*



Fuente: Elaboración propia.

Presentación general del sistema de información

En la figura 17 se presenta una imagen alusiva al *software* desarrollado para el proyecto. Este se ha diseñado en entorno Web recurriendo a Jboss Developer Studio y a Dreamweaver CS5.

Figura 17. Imagen alusiva al aplicativo software



Fuente: Elaboración propia.

Las páginas que contienen la aplicación (y su función) son:

Home

Para que el usuario pueda acceder al sitio, debe ingresar al link que se muestra en la figura donde abrirá la página principal del sistema remoto que será la misma página *home*. En la página de *home* estarán los diferentes links para entrar a las páginas: Nosotros, Contáctenos, registro e inicio de sesión como se muestra en la figura.

De igual forma, en la página principal de la interfaz gráfica se mostrará al usuario información de cultivos, monitoreo de variables agroambientales e información acerca del proyecto.

Nosotros y Contáctenos

El sistema también constará de correo electrónico, para establecer un medio de comunicación con los usuarios y por dicho canal poder recibir comentarios o sugerencias.

En la página *Contáctenos* es donde el usuario puede enviar comentarios al correo electrónico. Como se mencionó anteriormente el sistema contará con información del proyecto (funcionamiento general del sistema para el control de la capacidad de campo en el cultivo de ají) en el link *Nosotros*.

Ingreso y Registro del usuario

Los usuarios podrán acceder al sitio web para ver toda la información referente al sistema de monitoreo remoto, de manera que puedan registrarse e iniciar una sesión.

Para el registro del usuario, se pedirán datos, como: tipo y número de documento, nombres, apellidos, dirección, teléfono, correo, password y login.

En la página de *registro*, como se muestra en la figura, se observa los diferentes campos para completar, los cuales serán enviados a la base de datos del sistema de información.

Adquisición de datos remotos, monitoreo de la capacidad de campo de suelo y calculadora de fertilizantes

Una vez el usuario inicie sesión podrá tener acceso al monitoreo de la humedad del suelo del cultivo de ají como se muestra en la figura 17, el usuario completa los diferentes campos y oprime en el botón *Adquirir datos*, el sistema por su parte obtendrá la lectura del tensiómetro y la mostrará al usuario de manera gráfica. Esta es la página *Medir humedad*.

Como se puede observar, el sistema de información contará con algunos registros importantes, como lo es Ingresar el dato de la clase de cultivo que se desea monitorear. De igual forma se podrá seleccionar el tipo de variable por medir, como es, la humedad relativa, la conductividad eléctrica, sales, fertilidad, entre otras variables agroambientales. Estas variables las definirá el administrador del sistema, dependiendo de los sensores que se tengan en el cultivo. En el sistema inicial solo se adquirirá el valor de la humedad relativa del suelo.

Por medio de esta página también se le permitirá al usuario llevar un historial del monitoreo de la variable seleccionada, mostrar una alerta en caso de que se necesite riego en el cultivo y calcular los fertilizantes que necesita el suelo en cada etapa del cultivo.

La idea general es que los usuarios puedan acceder al sitio web desde un punto cualesquiera remoto, para realizar el monitoreo de la humedad relativa del suelo del cultivo y así emprender un control sobre el mismo cultivo.

El aplicativo *software* es un sistema que permite al usuario hacer consultas de historiales y medición de la humedad relativa del suelo del cultivo sin la necesidad de recurrir a medidas de tipo presencial en el campo, el sistema está centrado en el desarrollo de diversos métodos orientados al usuario, identificando previamente las necesidades de las personas involucradas con el cultivo y comprendiendo la necesidad de la tecnificación del campo. El sistema presenta las siguientes características generales:

- La red Zigbee envía los datos mediante puerto USB, estos datos son recibidos para que puedan ser consultados a través de un acceso a Internet, donde se visualiza la página web del sistema de información.
- El sistema presenta en su pantalla principal un mensaje de bienvenida describiendo los servicios ofrecidos junto con la opción para registrarse o si ya se está registrado, poder utilizar el sistema de monitoreo de la humedad y control de abono. Este acceso se da por medio de la inserción de un *login* previamente especificado y un *password* previamente escogido y que debe validarse.
- Una vez registrado el usuario, y después de haberse validado el registro y contraseña del usuario, se pueden seleccionar las siguientes actividades: registro de cultivo, modificación y eliminación del cultivo, registro del módulo Zigbee, modificación y eliminación del módulo Zigbee, registro de fertilizantes, modificación y eliminación de los fertilizantes, registro de historial de control de abono, consulta de historial de control de abono, hace monitoreo de la humedad.

- El usuario puede en cualquier momento acceder, modificar o cancelar su propio registro, todo esto después de haber sido el usuario validado en el sistema.
- Finalmente, el usuario tiene la capacidad de realizar un control de los fertilizantes que se le aplican al cultivo y a su vez podrá estar monitoreando la humedad del suelo desde una computadora personal o móvil celular con conexión a Internet.

Pruebas de operación y resultados finales

En las pruebas llevadas a cabo sobre el producto final se cuenta con ejercicios de validación de las diferentes etapas (sensado, comunicación y gestión desde el *software*). Estas son mostradas a continuación:

Pruebas de comunicación

Para el enlace de comunicación el primer paso que se debe realizar es la instalación, es decir, poner operativo el dispositivo final que es el encargado de suministrar los datos que serán transmitidos por el módulo de transmisión Zigbee.

Los primeros pasos de la instalación del dispositivo final son energizar la tarjeta de transmisión, hacer un hueco en el terreno donde se introduce el tensiómetro y su tarjeta de transmisión. Se evidencia la instalación del sensor en el cultivo y el dispositivo final instalado en el terreno. El dispositivo final tiene indicadores que muestran si el enlace ha establecido la conexión con su padre o dispositivo de nivel superior que lo conecta con el coordinador. En la figura se muestran los indicadores de conexión. Esto se ve en la figura 18.

Figura 18. *Instalación del sensor de humedad*



Fuente: Elaboración propia.

El led rojo es el indicador de asociación que significa que el sensor está buscando un “padre” al cual asociarse y poder establecer la conexión. En las pruebas realizadas se evidenció cómo el sensor se conectó exitosamente al segundo router del enlace, comprobando que el enlace es suficiente para sensores que están a ras del suelo. En la segunda etapa del enlace de conexión se verifica que el segundo router tenga enlace directo con el primer router, para esto se enviaron tramas de confirmación de conexión oprimiendo dos veces el botón de comisión que viene en la tarjeta del router.

En las pruebas de campo al enviar una trama de confirmación de enlace se recibe una trama de vuelta que enciende el led verde, el cual nos indica que la conexión ha sido establecida. El primer router en el enlace se conectó en un área específica para aportar la mayor cobertura posible. En la figura 18 se muestra la posición del primer router que debido a la distancia con el coordinado siempre se enlazaba exitosamente

Posterior a esto se prepara una prueba centrada en el uso de 6 nodos (N1, N2 y N6) realizando una transmisión de las variables seleccionadas durante 24 horas continuas; contrastando como variables de salida la cantidad de datos errados (por medición de paridad o inconsistencia en la variable) que se registran en el *software* de visualización. Para la prueba

se decidió contar con una tasa de muestreo de 0,5 muestras/segundo; consideradas por los expertos del área agrícola como una tasa sobredimensionada para estimar el comportamiento de las variables del proceso (cada nodo se encuentra a una distancia máxima, entre sí, de 50 metros, aproximadamente). En este caso se contó con 42.300 datos de cada uno de los nodos. Los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. *Tasa de error de los 3 nodos de prueba en el piloto*

Nodos	Datos errados	Tasa de error
N1	50	0,116%
N2	40	0,093%
N3	20	0,046%
N4	30	0,069%
N5	10	0,023%
N6	18	0,042%

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados presentan una alta confiabilidad para las condiciones propias del terreno y del tipo de cultivo. Se propone realizar pruebas de fatiga sobre los módulos, las cuales no son expuestas en este documento y serán publicadas en resultados posteriores.

Pruebas del sistema de información

Esta etapa consiste básicamente en comparar que el sistema de información solucionara cada caso de uso. A continuación se muestra la tabla 4 de pruebas funcionales del sistema.

Tabla 4. *Pruebas funcionales del sistema de monitores de humedad*

Autor	Caso de uso	Resultado
Usuario monitor	Registrar usuario	OK
	Inicio sesión	OK
	Modificar usuario	OK
	Registrar cultivo	OK
	Modificar cultivo	OK
	Registrar Zigbee	OK
	Modificar Zigbee	OK
	Historial control abono	OK
	Monitoreo humedad	OK
	Registrar fertilizantes	OK
	Consultar historial de fertilización	OK
	Modificar fertilizantes	OK
HW Zigbee	Captura datos del sensor	OK

Fuente: Elaboración propia.

Se valida también la operación de la transmisión y ubicación de la información en el servidor dispuesto para esta función. Se realizó la transferencia de datos con una tasa de muestreo $T_s = 5$ segundos, por un período de 12 horas. Los datos se contrastaron con los que se tabularon manualmente por el operario. Evidencia de esta propuesta es mostrada en la tabla 5.

Tabla 5. Información cargada en servidor

Humiditat	gP1	pressio1	temperatura1	Humiditat	gP2	pressio2	temperatura2	Humiditat	gP3	pressio3	temperatura3	hora_fecha
72	3	1	107	71	2	1	104	45	7	3	103	23/2014-05-08 16:01:58
309	307	302	307	479	309	304	447	15	16	127	103	2014-05-08 16:20:32
345	309	340	338	414	323	387	448	15	16	127	103	2014-05-08 16:20:49
700	507	880	81	485	378	428	489	15	16	127	103	2014-05-08 16:40:27
700	0	0	81	718	381	0	81	15	16	127	103	2014-05-08 17:20:27
700	0	0	98	719	382	0	88	15	16	127	103	2014-05-08 17:27:42
700	0	0	98	718	382	0	88	15	16	127	103	2014-05-08 17:29:17
700	0	0	98	718	382	0	88	15	16	127	103	2014-05-08 17:30:32
700	0	0	98	718	381	0	81	15	16	127	103	2014-05-08 17:32:06
700	0	0	88	717	382	0	88	15	16	127	103	2014-05-08 17:32:58
700	1023	1023	88	717	1023	1023	88	15	16	127	103	2014-05-08 17:34:59
700	1023	1023	88	718	1023	1023	88	15	16	127	103	2014-05-08 17:36:54
24	0	3	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:38:53
24	0	2	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:41:08
24	0	3	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:42:23
24	0	3	22	25	7	3	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:43:48
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:44:57
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:46:11
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:47:36
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:48:49
24	9	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:51:22
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:53:87
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:54:24
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:55:45
24	18	4	22	25	19	5	23	45	7	3	23	2014-05-08 17:56:58

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones

El proyecto mostrado en el presente capítulo de investigación es un primer acercamiento que hace el grupo de investigación UNITEL (Ing. de Telecomunicaciones) con el grupo de investigación USTAGRI (Administración de Empresas Agropecuarias), para la integración de herramientas TIC en el agro. Esta experiencia permitió la consolidación de líneas de investigación sobre esta temática, así como la continuación de la investigación a través de la red temática internacional Riesgonet, de la cual la Universidad Santo Tomás hace parte y es resultado del proyecto de investigación financiado por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

En este sentido, los autores del trabajo se permiten concluir y recomendar los siguientes aspectos:

El monitoreo de variables agroambientales permite conocer con mayor detalle los cambios y requerimientos del proceso, con el fin de mejorar y optimizar la producción agrícola. Se ha podido determinar que las tecnologías WSN y GPRS, desde un punto de vista técnico y económico, resultan siendo una interesante opción para el tipo de aplicación;

debido a que la cantidad y tamaño de los datos transmitidos no es demasiado alto, el dispositivo tiene buena respuesta en cuanto a velocidades de transmisión y ahorro de energía. En esta misma línea es importante resaltar que en muchas situaciones es la única opción para transmisión, junto a posibilidades satelitales, por la ubicación de los cultivos (espacios remotos).

El estado del arte y la base conceptual realizada ha permitido evidenciar la existencia de proyectos e iniciativas a nivel internacional y nacional que involucran el uso de la tecnología y las comunicaciones para el apoyo de los procesos agrícolas; propendiendo por el mejoramiento en el monitoreo, seguimiento y control de este. Se determina que el aporte que desde las telecomunicaciones se da en el mismo es muy destacado, desarrollando topologías, esquemas, algoritmos, entre otros aspectos para su correcta operación. El detalle de este estado del arte puede ser consultado en (Zabala & Rico, 2015).

La propuesta del proyecto ha elegido el uso de una solución web para la visualización y almacenamiento de los datos monitoreados en el entorno agrícola. Esta estrategia permite que los administradores o dueños de las plantaciones puedan hacer monitoreo a distancia, y con esto facilitar la toma de decisiones. Complementariamente, la iniciativa permite aumentar la cobertura geográfica de compartir información y a su vez contribuye a una rápida toma de decisiones.

Referencias

- Castro, C. M. (2010.). Apuntes de diseño de sistemas de drenaje agrícola. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/35245782/DISENO-DE-SISTEMAS-DE-DRENAJE-AGRICOLA>
- Contexto Ganadero. (2014). *Los procesos de automatización son lentos en el sector agro*. Recuperado de <http://www.contextoganadero.com/agricultura/los-procesos-de-automatizacion-son-lentos-en-el-sector-agro>
- Diario La República. (2013). *En procesos de automatización, el agro es el sector más rezagado*. Recuperado de http://www.larepublica.co/comercio-exterior/en-procesos-de-automatizaci%25C3%25B3n-el-agro-es-el-sector-m%25C3%25A1s-rezagado_33777
- DIGI. (2015). XBee / XBee-PRO ZigBee RF Modules.

- Faludi, R. (2012). *Wireless Sensor Networks*. (B. Jepson, Ed.) (Fourth). United State: O'reilly Media Inc. Retrieved from <https://www.google.com.co/#q=construyendo+redes+de+sensores+inal%25C3%25A1mbricos+robert+faludi>
- Fernández, R., Orideres, J., Martínez, F., González, A., Alba, F., Lostado, R., & Pernía, A. (2010). *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. Universidad de la Rioja (Ed.). Rioja, España.
- Girod, A. (2012). *Desarrollo e implementación de una red de sensores Zigbee mediante el dispositivo Xbee de Digi*. Recuperado de <http://deeca.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1957pub.pdf>
- Hillel, D. (2004). Introduction to Environmental Soil Physics. *European Journal of Soil Science*, 56(5), 684. Recuperado de <http://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756d.x>
- López, P., Cano, A., & Rodríguez, G. (2011). Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(2), 98-104.
- Maderey, L., & Jiménez, A. (2005). *Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico*. Universidad Nacional Autónoma de México (Ed.). México.
- Mampentzidou, I., Karapistoli, E., & Economides, A.A. (2012). Basic guidelines for deploying Wireless Sensor Networks in agriculture. In *2012 IV International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems* (pp. 864-869). Recuperado de <http://doi.org/10.1109/ICUMT.2012.6459783>
- Nikolidakis, S.A., Kandris, D., Vergados, D.D., & Douligeris, C. (2015). Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 154-163. Recuperado de <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.02.004>
- Nuez, F. (1995). *El cultivo del tomate*. España: Mundi-Prensa.
- Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N.S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 66-84. Recuperado de <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2015.08.011>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo, Uruguay. Recuperado de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Seedstudio. (2015). *GPRS Shield V2.0*. Retrieved from http://www.seedstudio.com/wiki/GPRS_Shield_V2.0

- Soil Moisture Equipment. (2014). 2710ARL/2725ARL *Operating instructions*. Retrieved from [https://www.soilmoisture.com/RESOURCE_INSTRUCTIONS-all_products/Resource_Instructions_0898-2725_2725_Jet-Fill Tensiometers.pdf](https://www.soilmoisture.com/RESOURCE_INSTRUCTIONS-all_products/Resource_Instructions_0898-2725_2725_Jet-Fill_Tensiometers.pdf)
- Srbínovska, M., Gavrovski, C., Dimcev, V., Krkoleva, A., & Borozan, V. (2015). Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks. *Journal of Cleaner Production*, 88, 297-307. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.036>
- Suniaga, J., Rodríguez, A., Ramírez, L., Romero, E., & Montilla, E. (2009). Fertilización mediante fertirriego, durante diferentes etapas del ciclo de cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) En *Condiciones de bosque seco premontano. Agricultura Andina*, 15, 56-65. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29379/1/articulo4.pdf>
- UNITEL & USTAGRI. (2013). *Documento referencial del proyecto - Sistema de Monitoreo Preventivo y Correctivo Inalámbrico de la Capacidad de Campo de Suelo en un Cultivo de Ají*. Bucaramanga, Colombia.
- Universidad Católica de Chile. (2012). *Determinación del contenido de agua del suelo. Tecnología de medición y control de humedad de suelo*. Recuperado de <http://documents.tips/documents/medicion-de-agua-en-el-suelo.html>
- Universidad Santo Tomás. (2013). *La Capsaicina como estimulante natural del sistema inmunológico en las aves de engorde*. Documento referencial. Bucaramanga, Colombia.
- Zabala, S., & Rico, M. (2015). *Informe final de proyecto*. Bucaramanga, Colombia.
- Zabala, S., & Rincón, E. (2014). Redes de sensores inalámbricos para el monitoreo de aplicaciones en la industria del petróleo y gas. En Cujae (Ed.). XVII Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura (pp. 1042-1052). La Habana: CUJAE.

Tecnologías de comunicación inalámbrica para el monitoreo y transmisión remota de información asociada a variables ambientales: Una propuesta para el sector agrícola y oil & gas¹

Sergio Andrés Zabala Vargas

Grupo de investigación en Telecomunicaciones UNITEL, Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones. Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga
Correo electrónico: sergio.zabala@ustabuca.edu.co

Introducción

Este capítulo presenta al lector un aporte al estudio del diseño e implementación de tecnologías de recolección de información de variables ambientales; enfocado a las necesidades determinadas del sector agrícola y del sector hidrocarburos. En ambos sectores se cuenta con la transversalización de la necesidad de monitorear variables sobre impacto ambiental, elemento que será profundizado posteriormente.

-
1. Este capítulo presenta resultados del proyecto de investigación “Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo y transmisión remota de datos provenientes de líneas de transporte de hidrocarburos”, desarrollado por el grupo de investigación UNITEL de la Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás Seccional, Bucaramanga.

Para presentar con mayor detalle esta iniciativa, el capítulo se subdivide en las siguientes secciones:

- Necesidad detectada y alcance general del proyecto: En este espacio se presenta de forma sintetizada la problemática que generó en el desarrollo de la propuesta. También se ilustra el objetivo general del proyecto que la enmarca.
- Resultados del proyecto: Se describe tanto la metodología como los principales resultados de la iniciativa, centrados en el *hardware* propuesto el *software* desarrollado y la validación de esta etapa inicial.
- Conclusión: Se presenta una conclusión general y las temáticas de profundización que se espera continúen abordando desde la investigación en la Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.

Necesidad detectada y alcance general del proyecto

El presente proyecto se encuentra enmarcado en las necesidades de dos grandes sectores económicos: El sector hidrocarburos y el sector agrícola. Ahora bien, para efectos de este capítulo se centrará en la revisión de la problemática en el primer sector y se invita al lector a la revisión del capítulo: “Innovación tecnológica en el agro. Experiencia de monitoreo preventivo y correctivo de suelos en cultivo de ají”; en el cual se detalla la contextualización del segundo sector listado.

En términos generales, el proyecto está enmarcado geográficamente en el territorio colombiano, país que se encuentra entre los 30 mayores productores de hidrocarburos a nivel mundial, con unas cifras (caso específico de petróleo) de 1.007.000 de barriles diarios en 2013 (Portafolio, 2014). En el caso de producción de gas natural la cifra también se encuentra en aumento y en 2013 fue de 1.174 millones de pies cúbicos diarios, según lo reportado por (CONCENTRA, 2014).

Ahora bien, en este contexto se ha identificado que uno de los elementos de mayor relevancia en los sistemas de distribución de hidrocar-

buros es la integridad de las ducterías, las cuales se enfrentan a diferentes problemáticas, como corrosión, rompimientos, fallas humanas, desastres naturales, sabotajes, robos de combustible, entre otros. Aunque en el caso colombiano se evidencia una tendencia en la disminución del robo de combustible desde 2002 (7270 b/d), pasando por 2005 (4500 b/d) hasta una cifra bastante reducida en 2012 (23 b/d) (El Nuevo Siglo, 2013) este sigue siendo un problema para monitorear, ya que el impacto económico y sobre todo ambiental aún es considerable.

En este último elemento existen evidencias tangibles de derrames y explosiones por robo o sabotaje que han generado pérdidas humanas y ambientales, como el caso del derrame en Turbaná en 2013 que dejó la bahía de Cartagena de Indias altamente contaminada (El Colombiano, 2013) el incremento de derrames en Caquetá y Putumayo por cuenta de paros y acciones armadas (Portafolio, 2013), el derrame de combustible en las playas de Ciénaga (Don Jaca) en 2010 (El Informador, 2010), entre muchos otros.

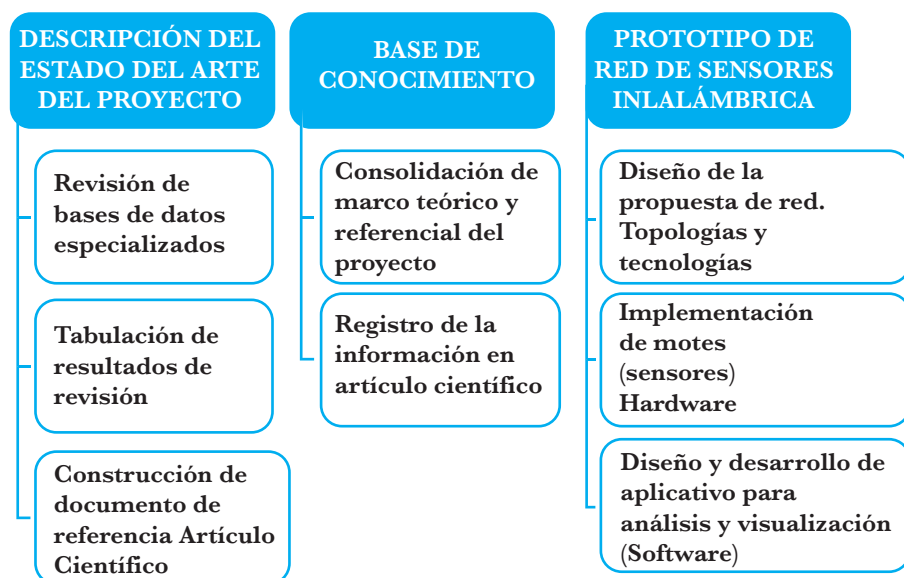
Otro aspecto que preocupa en el impacto ambiental de los procesos asociados a la producción de hidrocarburos es la calidad de las aguas industriales que estos emiten. Como un ejemplo particular (de muchos), (Altamira, Rincón, Marín, Behling, & Nola, 2005) resaltan el grave impacto de los fenoles de las aguas debido a su alta toxicidad y la importancia de buscar estrategias de monitorización y mitigación del impacto. Esto es ilustrado también por (Noyola, 2010) resaltando otros contaminantes como sólidos suspendidos, metales pesados, cambios de pH, entre otros. En este sentido la presente propuesta tiene como alcance la búsqueda de un sistema que apoye el monitoreo de las variables de interés, a través del uso de redes de sensores inalámbricos y aplicativos *software* para llevar a cabo la telemetría; presentando en la primera fase del prototipado los diseños e implementaciones *hardware*, los algoritmos de configuración de los sistemas embebidos y un *software* de monitoreo para dichas variables.

Finalmente, cabe la pena destacar que el proyecto relacionado cuenta, como objetivo central de la propuesta, el siguiente: “Diseñar e implementar un prototipo para el monitoreo remoto mediante una red de sensores inalámbrica, para el seguimiento a variables de interés ambiental”.

Resultados del proyecto

En esta sección se recurre al uso de un Esquema de Desglose de Trabajo (EDT)² para la presentación de los resultados del proyecto. Se ha considerado útil sintetizarlos en tres grandes entregables (figura 1). A continuación se relaciona con detalle cada uno de los entregables y el soporte de obtención de los mismos.

Figura 1. *Entregables del proyecto - resultados*



Fuente: Elaboración propia.

Estado del arte del proyecto

En el proceso de contextualización del proyecto se llevó a cabo una revisión del estado del arte de la iniciativa, la cual se centra en la aplicación específica de redes de sensores inalámbricos aplicadas al sector hidrocarburos (Oil & Gas). Los criterios de búsqueda para la revisión realizada son presentados en la tabla 1.

2. EDT o por sus siglas en inglés (WBS) es una herramienta utilizada en gestión de proyectos que permite una descomposición jerárquica orientada al entregable, del trabajo a ser ejecutado por el equipo de proyecto, para cumplir con los objetivos de este y crear los entregables requeridos.

Tabla 1. *Criterios de revisión en bases de datos especializadas*

Criterio		Descripción
Período de revisión	de	Últimos siete años a partir de la autoría del presente proyecto (2007-2014).
Bases de datos/ repositorios		Scopus, Elsevier e IEEE.
Condiciones de revisión		• Las palabras claves de búsqueda serán principalmente: • Wireless Sensor Network, WSN Oil & Gas. • Los trabajos seleccionados deben evidenciar impacto en el sector productivo de aplicación. • Se deben encontrar los artículos en texto completo.

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis anterior, incluyendo las bases listadas, se encuentran los resultados mostrados en la tabla 2 donde se determinan un total de 10 trabajos (más destacados) que cumplen con las condiciones listadas anteriormente.

Del ejercicio realizado es posible generar las siguientes conclusiones iniciales:

- Las redes de sensores inalámbricas se presentan como una interesante alternativa para el monitoreo de variables de proceso y secundaria en la industria de Oil & Gas; sin embargo, existen aún grandes retos como el cumplimiento de normatividad del sector, la protección de la información (seguridad informática), la confiabilidad de los datos, entre otros aspectos.
- La transmisión de datos considerando la red en una topología de varias capas funcionales es muy común en la revisión. Gene-

ralmente se encuentra con esquemas que cuentan con tres niveles: Nodos básicos, nodos de concentración y nodos finales de transmisión (centralización de datos). Estos esquemas suponen una jerarquía de la red y unas características *hardware* (firmware) diferentes en cada nivel.

- Se presenta en los papers más recientes una tendencia a utilizar las ventajas de la disposición de los nodos en el esquema de línea versus el esquema de malla (Mesh), ya que con estas se han logrado reducciones significativas del consumo de potencia en cada nodo, disminución de la complejidad de los algoritmos de enrutamiento y el mejoramiento de características de seguridad de la información. Es posible implementar estrategias de reducción de consumo de energía basado en la jerarquización del esquema de red y en el despliegue secuencial (lineal) de los nodos en su operación. Estas y otras estrategias son consideradas y motivo de estudio del proyecto.
- Se encuentra como un valor interesante de las iniciativas el poder contar con la información dispuesta en los servidores web (nube) que permita ser visualizada por las personas autorizadas en las organizaciones. Este punto requiere del rigor de los procesos de encriptación de los datos.
- Existen varias tecnologías inalámbricas que se vienen utilizando en el sector Oil & Gas y que vale la pena revisar desde la ejecución del proyecto (y futuros proyectos); tal es el caso de Ultra Wide Band (UWB), Wireless Hart, entre otros casos.

Tabla 2. *Relación de principales proyectos asociados con la temática de la experiencia*

Proyecto desarrollado	Institución	Resumen
<i>Synchronous Ultra-Wide Band Wireless Sensors Networks for oil and gas exploration (Savazzi & Spagnolin, 2009)</i>	Politécnico de Milan Wireless System for Geophysics – Milan (Italia)	El presente trabajo hace una revisión sistemática de la aplicación de redes de sensores inalámbricos en los procesos de exploración petrolera. Indican que actualmente la metodología fundamentada en geófonos (sensores especializados) suele disponerse en un esquema que utiliza infraestructura cableada, generando el uso de cientos de kilómetros de cable, retardos de señal, altos costos logísticos y baja calidad de la imagen. La propuesta se centra en utilizar comunicación inalámbrica recurriendo a mezclas de tecnología como Ultra Wide Band y protocolo 802.15.4 en esquema de Mesh.
<i>Requirements, Drivers and Analysis of Wireless Sensor Network Solutions for the Oil & Gas Industry (Aasland, Sjong, & Statoil, 2009)</i>	SINTEF ICT ABB Strategic Research for Oil & Gas Statoil R&D (Noruega)	El paper proveniente de la investigación en el sector productivo soporta y evidencia la importancia de la exploración de tecnologías inalámbricas con estándares de eficiencia energética para el sector Oil & Gas. El trabajo presenta puntos sensibles de interés para el sector, donde la tecnología debe permitir: mejorar desempeño HSE, incrementar producción, reducir gastos de operación (OPEX) y reducir bienes de capital (CAPEX). Las aplicaciones de mayor interés serían monitoreo, vigilancia, control de procesos, seguimiento de personal y administración de emergencia. Los autores definen como requerimientos técnicos mínimos: Larga duración de la batería, desempeño de red cuantificable, existencia con redes WLAN, Seguridad y facilidad de estandarización.

Proyecto desarrollado	Institución	Resumen
<i>Taxonomy of Wireless Sensor Network Cyber Security Attacks in the Oil and Gas Industries (Radmand, Talevski, Petersen, & Carlsen, 2010)</i>	Curtin University of Technology (Australia)	El paper resalta la importancia que las redes de sensores inalámbricas WSN en aplicación de hidrocarburos sean muy rigurosas con la normatividad del sector y con la seguridad de la información. La preocupación en el manejo de la información y el sector son variables críticas a ser consideradas. Se recomienda que la red utilice buenos niveles de enrutamiento para minimizar la posibilidad de ataques. Elementos como asociaciones accidentales, asociaciones maliciosas, ataques Man in the Middle, negación de servicio, interferencia de radio, ataques Bizantinos, entre otros son solo algunos de los problemas que dichas redes pueden tener.
<i>An Efficient Oil and Gas Pipeline Monitoring Systems based on Wireless Sensor Networks (Yu & Guo, 2012)</i>	Yangtze University (China)	Básicamente la iniciativa defiende el uso de los WSN como estrategias eficientes para el monitoreo en tuberías de Oil & Gas. El eje central del paper es el desarrollo de un algoritmo que permite monitorear presión, flujo, corrosión, contaminación ambiental, entre otros. Presenta el concepto de la información estática y dinámica en el proceso; generando como consecuencia que hay procesos que se pueden monitorear off-line y otros que se requiere de “tiempo real”. El diseño propone un sistema de tres niveles: sensores en las tuberías, estaciones intermedias y centros de control. La información se procesa con la transmisión de paquetes que cuenta con identificador, posición geográfica, energía residual, tiempo de vida del paquete, tipo de paquete (urgente o no urgente) y el dato. Se propone una estrategia de reducción de consumo desbalanceada por los métodos de fusión jerárquica de datos y la estrategia de despliegue lineal.

Proyecto desarrollado	Institución	Resumen
<i>The role of wireless sensor networks (WSNS) in industrial oil and gas Condition monitoring (Akhondi, Talevski, Carlsen, & Petersen, 2010)</i>	Curtin University of Technology Statoil ASA (Australia-Noruega)	El paper realiza un acercamiento a las ventajas del esquema de red en el monitoreo de variables a través de una tubería, pues su característica de línea recta permite facilitar los algoritmos y reducir consumo del mismo. Esta misma característica genera ventajas sobre los problemas asociados a seguridad. Cabe resaltar que el trabajo centra la investigación en el registro de vibraciones de la tubería; y se reitera que la gran ventaja de las tecnologías de este tipo (WSN) debe ser la facilidad de instalación y la sencillez del mantenimiento.
<i>Remote real-time Monitoring System for Oil and Gas Well Based on Wireless Sensor Networks (Yi, Lizhi, & Yuanzhong, 2010)</i>	China University of Petroleum (China)	El paper presenta una solución (técnica) para un conjunto de nodos aplicado al sector de interés del proyecto. Las variables monitoreadas son temperatura y presión de pozo (no tubería). El diseño se centra en un mote de 4 niveles (sensor, conversor A/D, microprocesador y modem GSM/GPRS), todos soportados por una fuente de poder. El prototipo muestra una conexión al modem GPRS con los nodos de medición, así como con equipos móviles (celulares para seguimiento). El mismo es conectado a un servidor Web que permite visualizar resultados a través de la plataforma de Internet.

Proyecto desarrollado	Institución	Resumen
<i>Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries (Akhondi, Talevski, Carlsen, & Petersen, 2012)</i>	Curtin University of Technology Statoil ASA (Australia-Noruega)	El paper realiza un levantamiento del estado del arte y aplicaciones más destacadas de las WSN en el sector hidrocarburos; destacando su aplicación en el proceso de producción de crudo (incremento de producción y seguridad). La hipótesis del artículo se sustenta en la existencia de situaciones, como es el caso del monitoreo en la producción donde el uso de cables lleva a ser un impedimento considerable. El autor presenta una estadística interesante en la cual un cuarto de las redes de sensores inalámbricas en 2009-2010 se encuentran asociadas al sector Oil & Gas. El paper recomienda la revisión de los estándares ZigBee Pro, Wireless HART e ISA100.11a; y de los mismos se debe considerar capa física, capa de acceso al medio, capa de red y capa de aplicación. El trabajo destaca la existencia de, principalmente, las siguientes aplicaciones: Monitoreo de integridad en tubería, monitoreo de niveles de tanques, monitoreo de condición de equipos (CBM), Monitoreo PRV, y monitoreo de cabecera de pozo (Wellhead). Como conclusión adicional el autor indica que un inapropiado diseño y despliegue de la red pueden afectar considerablemente el rendimiento y fiabilidad del mismo.

Proyecto desarrollado	Institución	Resumen
<i>Wireless Sensor Data Acquisition Design for Engineering Applications</i> (Lewis, Abdelgawad, & Tzeng, 2009)	University of Louisiana at Lafayette (USA)	El paper introduce el concepto de WSDA como una estrategia de adquisición de datos con sensores inalámbricos. Los autores presentan un marco de trabajo que permita integrar los sensores industriales utilizados en el sector de Oil & Gas. Este framework lo constituye el módulo de transmisión-recepción, el módulo de acondicionamiento de señal y el módulo de control y gestión. El paper destaca una topología circuital para el diseño del sensor en las etapas descritas, así como la arquitectura del <i>software</i> de visualización y firmware de gestión de los prototipos. La propuesta se ha aplicado en dos casos de estudio, medidores de flujo (Flow Meter) y transmisores de presión diferencial (DPT).
<i>Focal design issues affecting the deployment of wireless sensor networks for pipeline monitoring</i> (Owojaiye & Sun, 2013)	University of Hertfordshire (Reino Unido)	En este profundo trabajo los autores destacan la importancia de revisar al menos cinco consideraciones al momento de diseñar redes de sensores inalámbricas en el sector Oil & Gas. En este listado se encuentra: Modalidad de detección, la eficiencia y aprovechamiento de la energía, la fiabilidad de la red y localización de los dispositivos. Se lleva a cabo un profundo y detallado estado del arte de la tecnología, permitiendo generar como resultado que la tecnología es muy aplicable al monitoreo de tuberías, principalmente por su fácil despliegue, el bajo costo y los atributos flexibles. Los autores presentan un listado de sensores y sus ventanas para la medición de variables como temperatura, composición química, radiación, flujo magnético, fuerza, sonido, entre otros. El trabajo también profundiza en estrategias de conservación de potencia como la selección del tipo de sensor, el estándar de comunicación, el protocolo de comunicación, la fusión de datos y su despliegue físico.

Proyecto desarrollado	Institución	Resumen
<i>Linear wireless sensor networks: Classification and applications</i> (Jawhar, Mohamed, & Agrawal, 2011)	College of IT- UAE University University of Cincinnati (UAE y USA)	El paper presenta una revisión del estado del arte de un área específica de las redes de sensores inalámbricas, denominada Linear Sensor Network (LSN), la cual aparece en acción cuando se pretende realizar monitoreo de variables en una distribución de nodos en forma de línea. Este concepto permite diseñar protocolos especializados incrementando la eficiencia de la red, la tolerancia a fallos, el ahorro en el consumo de energía y la vida útil de la red. El trabajo también presenta pruebas de simulación en la transmisión de paquetes basado en el algoritmo propuesto, el cual evidentemente toma ventaja de la linealidad de estos.

Fuente: Elaboración propia.

Conceptos generales asociados a las redes de sensores inalámbricos

En esta sección se hace la descripción general del concepto de las redes de sensores inalámbricos y sus aplicaciones, para tal fin se incluye una sección de conceptos generales. Posterior a eso, se presentan algunas experiencias que destacan los antecedentes y el estado actual del arte de la aplicación de esta tecnología en el sector hidrocarburos.

Aspectos iniciales

En términos generales, se considera una *Red de sensores inalámbricos* (WSN³) al conjunto de pequeños dispositivos con capacidad de sensor, monitorear y en algunos casos realizar actuación; que operan generalmente en grupo. En la actualidad las redes de sensores inalámbricos son un concepto nuevo que se utiliza para la adquisición y tratamiento de datos con una gran variedad de campos de acción como lo son medios industriales, militares, ambientales, domótica, entre otros. Las WSN se basan en distribuir estratégicamente los dispositivos para el sensado y así poder monitorear condiciones físicas o ambientales incorporando dife-

3. Por sus siglas en inglés Wireless Sensor Network.

rentes etapas funcionales (Fernández et al., 2010). Este tipo de redes se caracteriza porque son autoconfigurables y por su facilidad de despliegue, además porque ofrecen servicios de encaminamiento entre nodos sin línea de vista, capacidad de registrar datos pertinentes a los sensores locales de cada nodo y la gestión eficiente de energía haciendo que el sistema sea mucho más operativo.

Asociado con este concepto se encuentra la noción de Nodo sensor o *Mote*, el cual es el principal elemento constitutivo de la red con capacidad de estar distribuidos espacialmente, de operación autónoma, bajo consumo de energía, capacidad de adquisición y procesamiento de datos, comunicación y autoconfiguración. Estos dispositivos tienen una configuración estructural básica como se describe a continuación (Fernández et al., 2010):

- **Procesador:** este es el elemento que se encarga de interpretar y procesar los datos para luego transmitirlos o enviarlos a otro nodo, también cumple la función de gestionar el almacenamiento de dichos datos en memoria. Existen diferentes dispositivos que se integran al nodo para que realicen la tarea computacional entre ellos están FPGA, Microprocesadores y Microcontroladores.
- **Alimentación (fuente):** usualmente la alimentación se realiza con baterías que se sustituyen cuando termina su vida útil o también se utilizan transformadores que deben tener la salida de voltaje adecuada para el nodo. Actualmente en zonas donde no existe red eléctrica y para evitar el tedioso trabajo de cambio de baterías se implementan paneles solares para que realicen la tarea de proveer alimentación.
- **Comunicación Inalámbrica:** este es un dispositivo que permite transmitir y recibir datos entre los nodos que se encuentran dentro de un rango de comunicación. Existen tipos de comunicación inalámbricas como lo son radio frecuencia y comunicación óptica, esta última se hace mediante láseres infrarrojos y su consumo de energía es mínimo, pero con este tipo de comunicación se requiere línea de vista entre el emisor y receptor.

- **Sensores:** se encargan de medir constantemente las variables físicas para su respectivo monitoreo. La salida de información de los sensores pueden ser analógicas o digitales y son enviadas al dispositivo microcontrolador para su debido procesamiento.
- **Memoria:** la memoria es la encargada de almacenar cualquier tipo de información, ya sean los datos que captan los sensores o algún tipo de configuración que se haga en el nodo. Existen diversos tipos de memoria entre los que se encuentra la EEPROM, FLASH, entre otros.

Los elementos anteriormente listados son complementados en la estructura de red, generalmente por puertas de enlace (Gateway) que se encargan de realizar la interconexión entre la red de sensores y redes de datos; y las estaciones bases como elementos recolectores de datos, los cuales pueden ser sistemas embebidos, computadores, servidores, entre otros.

Topologías de red, parámetros de interés y protocolos de enrutamiento en redes de sensores inalámbricos

Existen varias topologías que pueden ser implementadas en aplicaciones de redes inalámbricas de sensores, por ejemplo: estrella, malla o híbrida (malla-estrella), cada una de estas topologías puede presentar una serie de desafíos ventajas o desventajas. La topología de la red hace referencia a la configuración de los componentes y cómo se transmiten los datos mediante esa configuración (Fernández et al., 2010).

La topología de estrella se caracteriza porque la información enviada solo da un salto, es decir, todos los nodos o motes tienen comunicación directa con la puerta de enlace. La distancia que existe entre los nodos y la puerta de enlace depende del alcance de cada punto en particular y los nodos finales no interactúan entre ellos, sino que utilizan la puerta de enlace para tal fin, si se requiere.

La topología malla utiliza una técnica de múltiples saltos, con la cual todos los nodos actúan como routers. Todos los nodos pueden enviar y recibir datos de otros nodos y de la gateway a diferencia de la topología estrella, que no permite que los nodos se envíen información. La topología

híbrida permite combinar y sacar provecho de las ventajas de los dos tipos de tecnologías anteriores como lo son la simplicidad y bajo consumo de la topología estrella, así como la escalabilidad y la posibilidad de reorganizarse ante fallos de la topología malla.

Existe una clase de topología adicional a las mostradas, y que cobra valor para la aplicación en ductos de hidrocarburos, asociada a esquemas de medición en forma lineal (distribución de línea) la cual recibe en la literatura el nombre de LSN (redes de sensores lineales). Una caracterización más profunda de estas es mostrada en (Jawhar et al., 2011) con aplicaciones en monitoreo de tuberías superficiales, tuberías subterráneas, monitoreo de trenes y metros, monitoreo de líneas de energía AC, monitoreo de frontera (perímetro) de terreno, entre otros.

Existe un conjunto de parámetros para una WSN que define y caracteriza su operación. Entre los principales elementos que se deben considerar se tiene: tiempo de vida, cobertura de la red, facilidad de instalación, bajo coste, precisión en la medición de la(s) variable(s), seguridad de los datos, flexibilidad, robustez, capacidad de procesamiento, tamaño, consumo de energía, entre otros.

Por otra parte, en términos de redes en esquema de malla, es posible considerar el modelo de red Ad-Hoc, el cual se fundamenta en permitir la comunicación a través del mismo esquema de nodos; es decir, todos los dispositivos actúan como terminales finales y como retransmisores de paquetes. Las principales características de estas redes se encuentran asociadas a capacidades de movilidad (posibilidad de reposicionamiento de nodos), multi-saltos (los paquetes de datos pueden atravesar varios nodos), escalabilidad (las redes poseen características para aumentar el número de nodos de forma rápida y sencilla), autoorganización (la red puede establecer sus propias configuraciones de direccionamiento, clustering, encaminamiento, entre otros), conservación de energía (mejorar rendimiento y aumento de tiempo de la vida de las baterías) y la seguridad (teniendo en cuenta que las redes inalámbricas y especialmente las redes Ad-Hoc son vulnerables a ataques, tanto pasivos donde el atacante puede emular un nodo para capturar paquetes de datos, como ataques activos donde el atacante puede destruir las tablas de encaminamiento, etc.).

Finalmente, se cuenta con el concepto de los protocolos de enrutamiento, los cuales se clasifican en proactivos y reactivos (Doumenc, 2008). Los protocolos proactivos independientemente de las necesidades de encaminamiento, intentan tener una visión precisa del estado de la red; mientras que los protocolos reactivos solo obtienen información de encaminamiento cuando es necesario. Entre los protocolos más relevantes se encuentran: Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV), Optimized Link-State Routing Algorithm (OLSR), Dynamic Source Routing (DSR) y Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV).

Panorama de las redes de sensores en hidrocarburos (Oil & Gas)

Como se ilustraba en la sección anterior, las redes de sensores inalámbricas se vienen implementando en diferentes sectores, y el asociado a los hidrocarburos (Oil & Gas) no ha sido la excepción. Para aumentar la especificidad de la revisión se ha decidido enmarcar la aplicación de estas a los sistemas de distribución (monitoreo de tuberías), tanto en integridad como en funcionalidad. En ese sentido (Jawhar et al., 2011) ilustran con detalle las principales aplicaciones y permiten construir un estado del arte del uso de la tecnología LWSN (redes de sensores inalámbricas lineales) en diferentes campos. Trabajos destacados en la misma línea son presentados por (Akhondi et al., 2012) y (Akhondi et al., 2010) donde se describen iniciativas para el monitoreo de ductos con variables, tales como las fugas de gas, la corrosión del material, la condición de la infraestructura, entre otros aspectos. Específicamente en el trabajo (Akhondi et al., 2010) se sustenta un esquema de operación (topología de red) que se basa en cuatro grandes elementos distribuidos de forma jerárquica en BSN (nodos de sensado básico), DRN (nodos de retransmisión de datos), DDN (nodos de diseminación de datos) y el NCC (centro de control de redes).

Enmarcado en esta línea temática, existe todo un conjunto de investigaciones que presentan estrategias para optimizar la operación de las WSN en los parámetros descritos en la sección anterior. Por ejemplo (Somov et al., 2011) describen un sistema integrado (*hardware* y *software*) aplicado en las mediciones de gas, su procesamiento y eficiencia; con el cual

han podido generar un esquema de alarmas ante fugas del hidrocarburo en un entorno real. Por otra parte (Yu & Guo, 2012) presentan un interesante esfuerzo en el desarrollo de un algoritmo que permite mejorar la eficiencia en la adquisición de datos en un modelo lineal, lo que permite optimizar el consumo de energía y la confiabilidad de la transmisión de los datos. Otros algoritmos para mejorar dicha eficiencia se presentan a través de frameworks (marcos de trabajo) sustentados por el concepto del Data Provenance, como el mostrado en (Alam & Fahmy, 2014). Otro aspecto por considerar en esta revisión son las condiciones de la tuberías que no se encuentran superficiales, como es el caso de aquellas asociadas a la distribución de gas en Colombia (país de referencia para el presente proyecto), donde hay más de 9000 km de tubería subterránea asociada a los distribuidores de dicho hidrocarburo. Para el monitoreo en estas condiciones es importante combinar las mediciones sobre superficie de intrusión con variables de interés particular en la tubería. En este sentido se detecta otro concepto en el estado del arte denominado Redes de Sensores inalámbricos subterráneos (WUSN); del cual (Akyildiz & Stuntebeck, 2009) es uno de los referentes más destacados, pues presenta varias opciones de arquitectura.

Varshney, Kumar & Swaroop hacen la publicación de una síntesis de aplicaciones, problema y tendencias en el tema de LSN (2015). De este documento se resalta que los principales problemas (y oportunidades de investigación) se centran en el correcto despliegue de nodos, la definición de la topología en cada aplicación, la cobertura en grandes áreas geográficas, la optimización de la vida útil de los nodos y los protocolos eficientes de enrutamiento. En estos dos últimos aspectos los autores resaltan la importancia de seguir afianzando las investigaciones en el área.

En experiencias más recientes se encuentra la experiencia desarrollada por (Subramaniam, Nilavalan, Balachandran, & Khan, 2016); quienes resaltan las problemáticas de una red de sensores de tipo lineales para aplicaciones de Oil & Gas (bajo desempeño en redes amplias, disminución del radio de entrega, aumento de la latencia, entre otros). Para este caso en particular se propone una estrategia de enrutamiento innovadora, denominada Odd-Eve Linear Static Routing Path (OE-LSRP). La idea general es la predefinición de tablas de rutas entre nodos pares e impares,

logrando el incremento del rendimiento de la red y la disminución de la latencia y mejorando el término asociado a la equidad de la red.

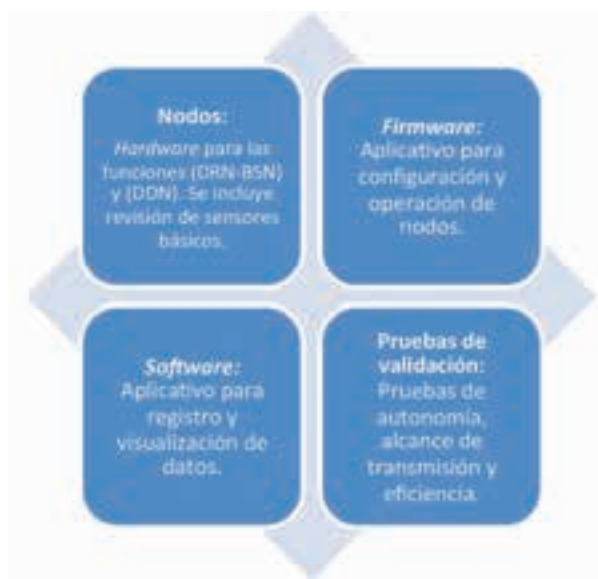
Finalmente, en el campo local, la experiencia de (Ospina-López & Ortiz-Trivinio, 2015) presenta una estrategia jerárquica para poder aumentar la flexibilidad en redes Ad hoc; lo cual es aplicable al desarrollo de redes WSN.

Prototipo de red de sensores inalámbricos – USTA

En esta sección se presenta el primer prototipo (en modelo de prueba de concepto) que se tiene resultado de la experiencia del proyecto en la Universidad Santo Tomás.

En la primera fase del proyecto se priorizaron los aspectos mostrados en la figura 2.

Figura 2. *Principales elementos de la red de sensores inalámbricos - USTA*



Fuente: Elaboración propia.

Requerimientos generales de diseño

En este ejercicio se consideraron los objetivos propuestos del proyecto, el estado del arte construido y el concepto de expertos en el área como la Dirección de Diseño Electrónico (Corporación para la Investigación para la Corrosión - CIC), Dirección de Ingeniería (Centro Desarrollo Tecnológico del GAS), Dirección (Clúster Tecnologías de la Información y la Comunicación de Santander - CETICS), entre otros. Los siguientes requerimientos surgen de la revisión del estado del arte y de las necesidades vistas en evaluación de expertos:

- Contar con nodo de medición a diferentes escalas. Se debe contar con nodos básicos de medición (BSN) con capacidad de adquisición de al menos 4 variables (analógicas/digitales), capacidad de almacenamiento para registro de históricos (< 512 MB), frecuencia de muestreo máxima de 50 sps o superior, capacidad de comunicación inalámbrica en redes Ad-Hoc y distancia media entre nodos de 200 metros, batería para alimentación y soporte adicional a través de panel solar, reloj en tiempo real para almacenamiento de históricos. Incluir en el diseño del firmware (algoritmo) del nodo la posibilidad de establecer tiempos de inactividad (modo sleep) de los nodos según se establezcan las condiciones de muestreo y procesamiento. Se propone que los mismos utilicen protocolo de comunicación Zigbee debido a las bajas tasas de transferencia que exige el proceso, el uso de bandas libres, la escalabilidad y con la expectativa de reducir el consumo de potencia de todo el sistema.
- Como la aplicación se implementa en zonas de difícil acceso o ubicadas a distancias considerables del centro de control (en muchos casos de centenas de kilómetros) es importante contar con un nodo con la capacidad de transmitir a la estación central, a través de un protocolo de mayor alcance que el Zigbee que se propone implementar en los nodos básicos. Para tal fin se propone implementar el nodo de Diseminación (DDN) utilizando tecnología GSM/GPRS y recurriendo al soporte de los prestadores de servicio locales de telefonía móvil.

- Desarrollar un conjunto de algoritmos para los nodos implementados (firmware) que permitan gestionar el registro de variables, el almacenamiento y la transmisión de datos. Es importante mantener en este diseño (por ser versión prototipo) la posibilidad de depurar (debug) en tiempo real de la operación del sistema. El firmware debe también permitir configurar modos de operación de inactividad (sleep) para la reducción de consumo de potencia. Determinar en este firmware el protocolo de comunicación y la estructura de las tramas de los datos.
- Diseñar un aplicativo *software* que permita: visibilizar el estado de la(s) variable(s) recibidas de los diferentes nodos, el estado de la carga de la batería del módulo, los históricos de las variables, generar reportes de la trazabilidad.

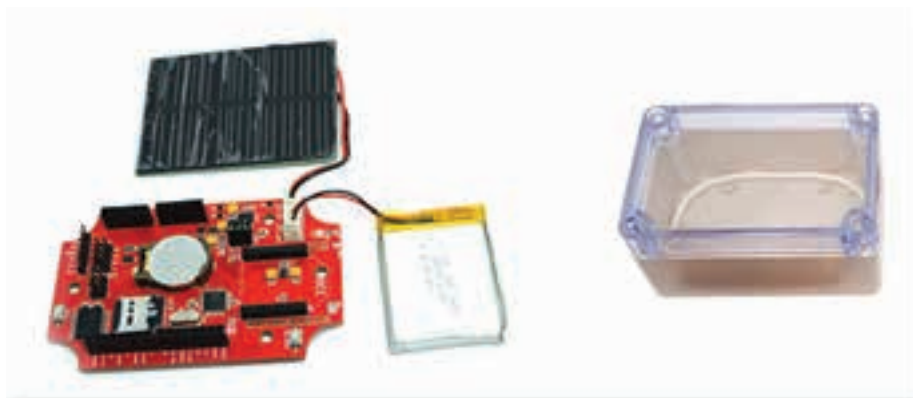
Nodos de sensado básico (DRN-BSN) y nodos de retransmisión de datos (DRN)

• Nodos de sensado básico (DRN-BSN)

Respecto al *hardware* implementado en el proyecto y que permite llevar a cabo la función de los motes del sistema, se cuenta con dos etapas en su desarrollo e implementación en el prototipo. En primera instancia se llevó a cabo el diseño de los módulos al cumplir con las características establecidas, permitiendo ejecutar simulaciones iniciales de su funcionamiento.

Con estos resultados iniciales se realizó la revisión de proveedores que contaran con módulos implementados con las funcionalidades identificadas en la sección de requerimientos. Se selecciona la plataforma *Seeeduino Stalker V2.3* cuyo detalle puede ser consultado en (Seeeduino, 2014), En la figura 3 se presenta el módulo indicado (A- Dispositivo *hardware* y B-Carcasa a prueba de agua-intemperie).

Figura 3. A-) *Plataforma Seeeduino Stalker V2.3 - Función de Nodo BSN/DRN*
B-) *Carcasa de protección a intemperie*



Fuente: Seeeduino, 2014.

Ahora bien, la elección de dicho módulo se hace basada principalmente en las siguientes características del sistema:

- Cuenta con un procesador de 8 bits ATEPGA328P de 16 MHz, que si bien no es un procesador de alta gama permite cumplir las funciones de adquisición de las variables indicadas y la gestión de los demás periféricos. A su vez se logra ampliamente cumplir con la tasa de muestro establecida en el diseño de 50 sps.
- Dispone de un Reloj en tiempo real (RTC) y de su batería de respaldo, permitiendo el registro de los datos con trazabilidad histórica.
- Posibilidad de instalar y configurar a través del firmware del dispositivo, una memoria Micro-SD para el almacenamiento de la información. Para el caso del prototipo se ha instalado y configurado una memoria de 2 GB.
- Posibilidad de implementar baterías Li-ON y Li-Po para la autonomía del sistema. La propuesta base cuenta con una batería de una celda de 3.7V con una capacidad de corriente de 1000 mAh; sin embargo, se ha expandido la solución con una capacidad de 1600 mAh para aumentar su autonomía. A su vez cuenta con el conector JST para el ingreso de la señal de una batería de 3.5-4.2 V.

Uno de los elementos de mayor interés para los autores del proyecto respecto al módulo es la posibilidad de incorporar un sistema de gestión de carga basado en panel solar. Esto permite garantizar que el equipo mantenga un nivel de carga cercano al 100%, al menos en las horas de mayor incidencia de radiación solar, y que disminuya solamente en las demás franjas para ser, nuevamente cargada al día siguiente. El panel propuesto tiene una capacidad media e 0.5 W con una corriente típica de 100 mA. También el coste del mismo es reducido, siendo esto una ventaja del diseño (Seeeduino, 2014).

En la figura 4 se destacan los sockets o conectores (compatibles con Arduino), el espacio para la tarjeta de almacenamiento SD (capacidad máxima de 4 GB), reloj en tiempo real, base para conexión de radio Xbee, conectores de batería y celda solar, entre otros.

Figura 4. *Principales elementos de la tarjeta base nodo BSN-DRN*



Fuente: Seeeduino, 2014.

Basado en el esquema mostrado, se hace la adaptación y configuración del mismo, estableciendo la distribución de pines como se muestra en la figura 5. Puede observar el lector que el dispositivo permite contar con:

- 8 puertos digitales para conexión de sensores o actuadores.
- 4 puertos analógicos para la conexión hasta de 4 sensores - 2 sensores (diferenciales).

Esta configuración permite mostrar que aun que el módulo no cuente con una capacidad de procesamiento y gestión de I/O considerables, es suficiente para cumplir las metas propuestas (monitoreo de mínimo tres sensores).

Figura 5. Distribución de pines propuesta para el proyecto

Pin	Descripción de conexión	Pin	Descripción de conexión
Digital 0	Xbee TX / Bootloader	Ana 0	
Digital 1	Xbee RX / Bootloader	Ana 1	
Digital 2		Ana 2	
Digital 3		Ana 3	
Digital 4		Ana 4	RTC I2C SDA
Digital 5		Ana 5	RTC I2C SCL
Digital 6		Ana 6	CH STATUS LIPO
Digital 7		Ana 7	V LIPO
Digital 8			
Digital 9			
Digital 10	uSD CS		
Digital 11	uSD MOSI		
Digital 12	uSD MISO		
Digital 13	uSD SCK - LED		

Fuente: Elaboración propia.

Como fuente de poder del dispositivo se cuenta con baterías Li-po de una celda (3.7). Para el prototipo se consideraron dos opciones: 1000 mAh y 2800 mAh. Ambas baterías son recargadas, en operación nominal, por el panel solar mostrado en la figura 3 A.

Figura 6. Baterías implementadas en el proyecto



Fuente: Elaboración propia.

Nodos de Diseminación de datos (DDN)

Para llevar a cabo esta función la tarjeta elegida proviene del fabricante ITEAD STUDIO y es denominada comercialmente Gboard Pro. La misma cuenta con capacidad de transferencia GSM/GPRS/ZigBee. Implementa un módulo SIM900 para llevar a cabo dicha función. Entre los elementos destacados en este módulo para el proyecto se encuentra:

Procesador ATMEGA 2560 con suficiente capacidad de procesamiento para gestionar los datos recibidos de los módulos y su transmisión a la red de Internet a través de la plataforma GSM/GPRS.

La operación es de bajo consumo (3.3 V) y un consumo promedio de 100 mA.

El dispositivo cuenta con la posibilidad de comunicación Xbee, la capacidad de implementar una LCD para operación del equipo Stand-Alone y un slot para tarjeta microSD.

En la figura 7 se ilustra la tarjeta presentada y su esquemático.

Figura 7 A. Tarjeta G-Board y B-) módulo esquemático (Nodo DDN)



Fuente: Seeeduino, 2014.

Cabe resaltar finalmente que esta tarjeta ha sido configurada con una tarjeta SIM de proveedor local colombiano (Claro) y la gestión es realizada a través del firmware desarrollado para el módulo.

Sensores utilizados en la prueba de concepto- prototipo

Para poder completar el nodo (mote) de la red de sensores inalámbricos, se requiere contar con un conjunto de sensores orientado a diferentes variables. La elección de estas se realizaron bajo un criterio: Variables de interés encontradas en el estado del arte tanto de medición de variables de hidrocarburos como en general de características ambientales.

Los sensores utilizados en las primeras pruebas de concepto y en los prototipos son mostrados en la tabla 3. Estos sensores son de propósito general y permiten hacer aproximaciones a la operación del dispositivo.

Tabla 3. *Sensores básicos utilizados en la prueba de concepto/prototipo*

Sensor	Variable principal	Rango de medición	Imagen de referencia
MQ-2	HUMO LPG Butano Metano Alcohol	200 – 5000 ppm 300- 5000 ppm 5000 – 20000 ppm 100-2000 pm	
MQ-3	Alcohol	0.04-4mg/L	
MQ-4	Metano / Gas Natural	300-10000 ppm	
MQ-5	Gas Natural LPG Town Gas	200-10000 ppm	
MQ-135	Humo NH3/NOx/Alcohol Benzeno	10 ppm- 300 ppm	

Sensor	Variable principal	Rango de medición	Imagen de referencia
DHT-11	Temperatura Humedad	0 - 50 °C 20% - 90%	
DS3132 (interno board)	Temperatura Carga Batería	0 - 50 °C 0 - 100%	

Fuente: Elaboración propia.

Algoritmos para operación (firmware)

Teniendo en cuenta que el *hardware* seleccionado tiene como micro-controlador central ATMEGA328p, que es el mismo que usa el proyecto ARDUINO, se decide enfrentar el desarrollo del *software* al usar todas las librerías y SDK disponibles, logrando así agilidad en el desarrollo del proyecto debido a la disponibilidad de algunas librerías que son pertinentes para el proyecto.

Antes de enfrentar el desarrollo del código, se deben tener en cuenta los diferentes elementos de *hardware* que deben ser gestionados desde el microcontrolador, los cuales son:

- Memoria micro-SD.
- Reloj de tiempo real (RTC) de referencia DS3231.
- Controlador de carga de batería por panel solar de referencia CN3063.
- XBee S2.

En una primera etapa del código se realiza la debida inicialización de los componentes electrónicos listados anteriormente. Para la memoria micro-SD se utiliza el protocolo SPI como capa inferior de código y sobre ella se implementa la librería FAT32 para poder administrar los espacios de memoria usando la tabla de archivo FAT32 de Microsoft. Con esto se logra la creación de archivos de texto para así llevar un registro de los datos obtenidos por el nodo.

Para el RTC se utiliza el protocolo I2C. Este RTC es el encargado de llevar las cuentas de día, mes, año, horas, minutos y segundos del sistema, lo cual permite complementar los datos almacenados en la memoria micro-SD adjuntándole el instante de tiempo en el que se tomó la muestra. Este RTC también cuenta internamente con un sensor de temperatura cuya información puede ser obtenida mediante el mismo protocolo I2C.

El controlador de carga de batería no requiere inicialización, pero este cuenta con dos pines denominados CHRG y DONE, los cuales permiten conocer si se está cargando la batería y si ya está completamente cargada. Para esta actividad se destinan dos pines del microcontrolador. También se toma una muestra del voltaje de la batería y así poder determinar el porcentaje de carga disponible en la batería.

El módulo XBee usa el protocolo serial asíncrono UART para comunicarse con el microcontrolador. Este no requiere una inicialización, pero sí es necesario iniciar el servicio del protocolo serial para poder establecer la comunicación.

Adicionalmente, se define un par de pines para realizar DEBUG del *software* y así conocer en tiempo real el comportamiento del microcontrolador y los periféricos conectados al mismo. En este sentido se usa el protocolo UART pero debido a que el microcontrolador solo cuenta con un módulo UART por *hardware*, se hace necesaria la implementación del protocolo por *software*.

Una vez inicializados los servicios necesarios para que el *hardware* pueda trabajar de manera dinámica en la red, se desarrolla un ciclo que será repetido de manera indefinida en el cual se desarrollan las siguientes tareas de forma secuencial:

1. Tomar una muestra de voltaje de la batería y el estado de carga de la batería.
2. Tomar los datos del reloj de tiempo real, incluyendo la temperatura.
3. Imprimir datos por DEBUG de los datos tomados en los pasos 1 y 2.
4. Almacena en memoria micro-SD pero siempre sobre un archivo de texto con el nombre “DATALOG.txt”.
5. Envía datos al coordinador de la red ZigBee. Esto se realiza usando comandos AT para el XBee S2. La cadena de datos enviada al coordinador está diseñada para evitar problemas de sincronización y datos incompletos.
6. Configura RTC para generar una interrupción en 30 segundos.
7. Lleva el microcontrolador a modo Sleep de manera que así se pueda optimizar el uso de la energía de la batería.
8. Espera a la interrupción del RTC para levantarse del modo Sleep y repetir todos los procesos desde el paso 1.

La configuración particular de pines se muestra en la figura 8.

Software de gestión de información de nodos

Para el desarrollo del *software* de administración de los datos de cada uno de los nodos se usa LABVIEW, con el objetivo de acelerar el desarrollo y darle una interfaz gráfica usable y confiable, desde la cual se pudiera visualizar rápidamente el estado de todos los parámetros disponibles en cada uno de los nodos. Labview no necesita inicializar ningún elemento tal como el XBee S2, ya que este último ya debe estar configurado como coordinador antes de ser conectado al PC. LabView recibe de cada nodo una cadena de texto que contiene toda la información de temperatura, voltaje de batería, porcentaje de carga de la batería y estado de la batería.

Un ejemplo de la cadena de texto lleva el siguiente formato para poder almacenar todos los datos:

`"#N1:T25.50 #N1:V4.09 #N1:P81 #N1:Enot char"`

De la cadena anterior se obtiene que la temperatura es de 25.50°C, voltaje de batería está en 4.09vdc, porcentaje de batería en 81% y el estado es no cargando.

Cabe resaltar que dicha cadena es ajustable dinámicamente a diferentes tipos de sensores y variables. En la figura 8 se presenta la interfaz desarrollada; la cual se encuentra en fase de prototipo y mejoramiento para la fácil integración de elementos/módulos adicionales.

Figura 8. *Interfaz gráfica del software. Visualización de datos*



Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que el aplicativo también ha sido relacionado con el servicio de visualización en la nube Xively (<https://xively.com/>) para de esta forma contar con la posibilidad de revisión en cualquier posición geográfica con previa autenticación, con una interfaz que se muestra en la figura 9. Este servidor también es accedido a través del módulo Disseminación de datos (DDN) o desde el aplicativo de escritorio.

Figura 9. Visualización de datos en plataforma Xively



Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de validación

En el desarrollo del proyecto se ha determinado un conjunto de experimentos que permite validar los alcances del mismo. En la proyección de la iniciativa se pretende validar operación en entorno real gracias al apoyo de la empresa TGI (distribuidor de Gas en Colombia) y al Centro de Investigación CIC (Corporación para la Investigación de la Corrosión). En el diseño de experimento se pretende validar la confiabilidad del sistema, la autonomía de la operación en campo y la seguridad de transmisión de los datos. Ahora bien, para el presente documento se describe un avance de dichas pruebas, centrándose en la transmisión de datos y en consumo de energía, la cual se describe a continuación.

Pruebas de transmisión con los módulos sensores integrados

Se llevó a cabo una prueba para evaluar el funcionamiento general del sistema, realizando la captura y transmisión de tres tipos de variables desde cinco nodos y evaluando, bajo una condición de 100 tomas de datos por nodo, la cantidad de aciertos (datos visualizados con margen de error aceptable) en el *software* descrito anteriormente. La calibración de los mismos se realiza con patrones comerciales de bajo coste en esta primera experiencia. Los datos de la prueba se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. *Datos generales de la prueba*

Concepto	Valor
Número de nodos	5
Distancia entre nodos	40 metros
Línea de vista entre nodos	SI
Variables registradas	Temperatura (Sensor embebido en RTC DS3231) – Var 1 Carga de Batería (CN3063) – Var 2 Gas Metano (Hanwei Electronics-MQ4) – Var 3
Nodos Xbee elegido	Xbee S2
Modo de configuración	Modo AT. (1 coordinador y 4 nodos de medición)
Período de muestreo	15 s
Número de muestras de prueba	100

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la experiencia se presentan en la tabla 5. El porcentaje de datos recibidos se calcula como la relación de datos efectivos que arriban al *software* (servidor) vs el número total de muestras. Los errores de cada variable son la relación entre el valor transmitido vs el valor del dispositivos patrón seleccionado para la prueba.

Tabla 5. *Resultados de la prueba*

Nodo	Porcentaje de datos recibidos	Error % Var 1	Error % Var 2	Error % Var 3
1	99%	3 %	NA	4.2 %
2	98%	3.7%	NA	3.7 %
3	100%	2.8%	NA	4.1 %
4	100%	3.3 %	NA	2.8 %

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados presentan una alta fiabilidad con respecto a la transmisión (entre 98% y 99%) y porcentajes de error en la medición muy bajos. Se propone que en futuras validaciones se verifique la relación de alcance vs consumo de energía, tasa máxima de transmisión, número máximo de nodos efectivos por concentrador y transmisión por GSM/GPRS.

Pruebas de validación OUTDOOR – finca El Limonal ***Condiciones generales de la prueba***

En la fase 1 la propuesta de validación, asociada al alcance del objetivo, se encuentra vinculada a la tipificación del comportamiento de los módulos en entornos de laboratorio; sin embargo, se plantean pruebas preliminares de registro de variables en entorno Outdoor. En este caso se decide utilizar monitoreo de tres puntos con envío a coordinador y transmisión a “la nube”; estableciendo este ejercicio en la finca El Limonal propiedad de la Universidad Santo Tomás. En este caso las variables elegidas para evaluación son:

- Temperatura (Sensor DTH11).
- Humedad (Higrómetro SEN92355P⁴)
- Carga de Batería (Sensor módulo DRN).

Para esta validación de funcionamiento se hacen pruebas en campo, teniendo en cuenta que la distancia desde el cultivo hasta el punto de centralización de los datos es de aproximadamente 450 metros, lo cual no debería ser ningún inconveniente debido a que se implementa el uso de radios Xbee Pro S2B cuya máxima distancia es de 1500 metros. En la figura 10 se muestra la ubicación de la finca y la distancia hasta el cultivo.

4. Sensor de humedad con operación nominal de 5 voltios, consumo de corriente de 35 mA (Max) con una capacidad de registro de humedad en terreno.

Figura 10. Distancia entre el cultivo y el nodo de coordinador



Fuente: Elaboración propia.

Otro factor importante y que no es un inconveniente para la adecuada transmisión y recepción de los datos es la línea de vista que en este caso no existe debido a que hay una leve inclinación y que la zona está bastante poblada por árboles. Se puede observar en la figura 11 el módulo empotrado en carcasa (versión 1) sin contar con el panel solar.

Figura 11. Ubicación de uno de los nodos DRN de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.

Prueba de Tasa de error vs tiempo

En esta primera prueba se mantuvo operación continua de los nodos transmisores durante 12 horas; determinando en dicho período de tiempo la cantidad de errores evaluados en el *software* (debug). La tasa de muestreo y transmisión elegida es de 10 muestras por minuto, contando con 7200 datos aproximadamente. Los resultados de esta prueba son mostrados en la tabla 6.

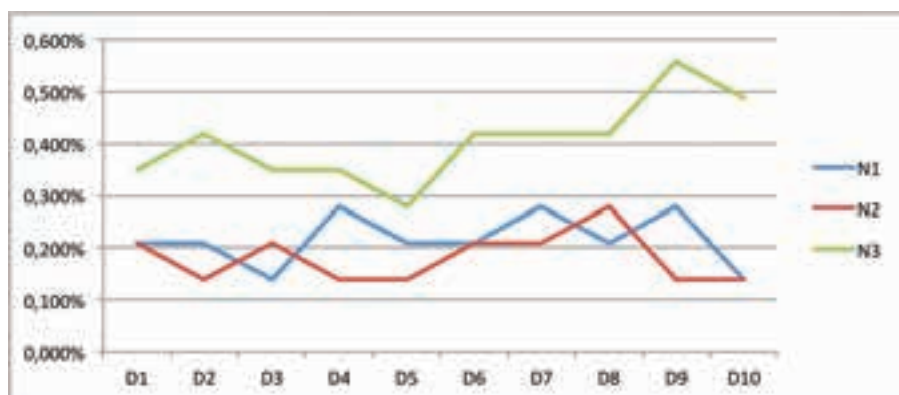
Tabla 6. *Tasa de error de los 3 nodos de prueba en el piloto*

Nodos	Datos Errados	Tasa de Error
N1	20/7200	0,28%
N2	18/7200	0,25%
N3	30/7200	0,42%

Fuente: Elaboración propia.

Con este primer resultado se decide monitorear el cultivo por un período mayor (10 días) con una tasa de transmisión de una muestra por minuto. Este ejercicio busca verificar si en operaciones de “largo aliento” con condiciones meteorológicas cambiantes es posible mantener las tasas de error controladas. La totalidad de los datos transmitidos será en este caso *14400*. En la figura 12. Se muestran estos resultados manteniendo una tendencia similar a la de la anterior prueba; sin embargo, si se determina que aunque porcentualmente es baja la diferencia existe una tendencia en el Nodo 3 de tener tasas de error mayor; lo que implica la verificación del *hardware* y la determinación de la novedad que permita reducir este comportamiento hacia lo mostrado por los demás nodos.

Figura 12. Tasa de error vs. tiempo



Fuente: Elaboración propia.

Estas pruebas preliminares permiten observar unas tasas de transmisión interesantes para el tipo de dispositivo en prueba de concepto, sobre todo considerándose que en promedio se tienen tasas de error inferiores al 0.5%. Cabe aclarar que en este caso el monitoreo se realiza dando respuesta a si el dato llega al destino completo y sin errores; y no a la certeza del dato.

Consumo energético de los nodos

Se realizaron pruebas para verificar el consumo energético de los nodos sin contar con el respaldo del panel solar. En este primer ejercicio se consideraron las siguientes condiciones:

- Tasa de Transmisión: 10 muestras por minuto.
- Nodos en la prueba: 2 (Un end device – nodo coordinador).
- Tipo de *hardware*: Nodos base (BSN).
- Condición operación: 1. Encendido la totalidad del módulo en un 100% del tiempo, incluido la alimentación de sensor de temperatura, humedad y carga de batería. 2. Similar a la condición 1 pero realizando apagados periódicos de los módulos microcontrolados y memoria SD. 3. Realizando apagados (modo Sleep) periódicos a microcontroladores, memoria SD y radios XBEE.

Los resultados son mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. *Pruebas iniciales de consumo de energía*

Condición de operación	Tiempo de vida (horas)
1	14, 5
2	27
3	45

Fuente: Elaboración propia.

De esta primera aproximación se muestra la importancia de analizar a mayor profundidad las estrategias de disminución de consumo de energía en los módulos; a su vez la opción del panel solar es una muy buena medida para mejorar la autonomía de operación de los mismos.

Conclusión del proyecto

En términos generales, la propuesta presentada en el documento expone una estrategia que permite aportar a las necesidades de medición y supervisión de variables relacionadas con la de distribución de hidrocarburos, que incluyen el sensado de impacto ambiental, fugas de gas, derecho de vía, entre otros; sin embargo, son de factible aplicación en otras áreas (agroindustria, condiciones estructurales, entre otros).

A partir del análisis cualitativo y cuantitativo en las pruebas presentadas en este documento; es posible afirmar que el uso del conjunto de protocolos ZigBee, así como la definición de un esquema de red distribuido; permite realizar un registro de variables en las condiciones propuestas que cumple con las expectativas para el tipo de aplicación. Es importante considerar que, de ser necesario incrementar distancias entre nodos, pensando en aplicaciones con áreas mucho más amplias, pudiese requerirse la incorporación de puntos repetidores con mayor alcance o la incorporación de mejoramiento en antenas y potencia (radios) o la modificación del protocolo.

Como trabajo futuro se propone las etapas *hardware*, estudiar con mayor profundidad los protocolos de seguridad y comunicación de la información y la construcción de un aplicativo *software* modular de fácil escalabilidad. Los autores se encuentran en proceso de consolidación de un convenio para poder realizar las pruebas en campo en entorno real, permitiendo validar las ventajas y desventajas de la propuesta. La iniciativa también se convierte en una plataforma de apoyo para la formación de estudiantes de Ingeniería de Telecomunicaciones y afines de la Universidad Santo Tomás, entidad promotora y financiadora de la propuesta.

Referencias

- Aasland, C.S., Sjong, D., & Statoil, R. (2009). Requirements, Drivers and Analysis of Wireless Sensor Network Solutions for the Oil & Gas Industry ABB Strategic Research for, (7465), 219-226.
- Akhondi, M.R., Talevski, A., Carlsen, S., & Petersen, S. (2010). The role of wireless sensor networks (WSNs) in industrial oil and gas condition monitoring. In *Digital Ecosystems and Technologies (DEST), 2010 4th IEEE International Conference on* (pp. 618-623). <http://doi.org/10.1109/DEST.2010.5610584>
- Akhondi, M.R., Talevski, A., Carlsen, S., & Petersen, S. (2012). Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries. In *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on* (pp. 941-948). <http://doi.org/10.1109/AINA.2010.18>
- Akyildiz, I.F., & Stuntebeck, E.P. (2009). Wireless underground sensor networks: Research challenges. *Ad Hoc Networks*, 4(6), 669-686. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2006.04.003>
- Alam, S.M.I., & Fahmy, S. (2014). A practical approach for provenance transmission in wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 16, 28-45. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2013.12.001>
- Altamira, N., Rincón, J.C., Marín, E., Behling, E.C., & Nola, F. (2005). Degradación de fenoles totales durante el tratamiento biológico de aguas de producción petroleras. *CIENCIA*, 13(3). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/27297917_Degradacion_de_Fenoles_totales_durante_el_tratamiento_biologico_de_aguas_de_produccion_petrolera

- CONCENTRA. (2014). Producción de gas natural en Colombia subió 1,6% en 2013. Recuperado de http://www.concentra.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=1178:producción-de-gas-natural-en-colombia-subió-16-en-2013&Itemid=113
- Doumenc, H. (2008). Estudio comparativo de protocolos de encaminamiento en redes Vanet. Madrid.
- El Colombiano. (2013, september 14). Derrame de hidrocarburo se extiende en la bahía de Cartagena. Cartagena. Recuperado de http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/D/derrame_de_petroleo_se_extiende_en_la_bahia_de_cartagena/derrame_de_petroleo_se_extiende_en_la_bahia_de_cartagena.asp
- El Informador. (2010). Derrame de combustible en las playas de Don Jaca por daño en poliducto de Ecopetrol. Bogotá. Recuperado de <http://www.elinformador.com.co/index.php/el-magdalena/81-distrito/5914-derrame-de-combustible-en-las-playas-de-don-jaca-por-dano-en-poliducto-de-ecopetrol>
- El Nuevo Siglo. (2013, abril 22). Hurto de combustible, derrame económico. Bucaramanga. Recuperado de <https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/4-2013-hurto-de-combustibles-derrame-economico>
- Fernández, R., Orideres, J., Martínez, F., González, A., Alba, F., Lostado, R., & Pernía, A. (2010). *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. Universidad de la Rioja (Ed.). Rioja, España.
- Jawhar, I., Mohamed, N., & Agrawal, D.P. (2011). Linear wireless sensor networks: Classification and applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(5), 1671-1682. Recuperado de <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2011.05.006>
- Lewis, A., Abdelgawad, A., & Tzeng, N.-F. (2009). Wireless Sensor Data Acquisition Design for Engineering Applications. In *Circuits and Systems for Communications, 2008. ICCSC 2008. 4th IEEE International Conference on* (pp. 544-549). Retrieved from <http://doi.org/10.1109/ICCSC.2008.121>
- Noyola, A. (2010). *La problemática de los servicios y su impacto en la sociedad y el medio ambiente*. Instituto de Ingeniería, UNAM. Retrieved from http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/noyola_cea_jalisco.pdf
- Ospina-Lopez, J.P., & Ortiz-Trivinio, J.E. (2015). Caracterización de un clúster y sus recursos en una red Ad hoc a partir de la distribución geométrica truncada. *Iteckne*, 12, 6875. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982015000100009&nrm=iso

- Owojaiye, G., & Sun, Y. (2013). Focal design issues affecting the deployment of wireless sensor networks for pipeline monitoring. *Ad Hoc Networks*, 11(3), 1237-1253. Retrieved from <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.09.006>
- Portafolio. (2014). *Petróleo: promedio diario fue de un millón de barriles*. Bogotá. Recuperado de <http://www.portafolio.co/economia/produccion-anual-petroleo-se-incremento-2013>
- Radmand, P., Talevski, A., Petersen, S., & Carlsen, S. (2010). Taxonomy of Wireless Sensor Network Cyber Security Attacks in the Oil and Gas Industries. In *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on* (pp. 949-957). Retrieved from <http://doi.org/10.1109/AINA.2010.175>
- Savazzi, S., & Spagnolin, U. (2009). Synchronous ultra-wide band wireless sensors networks for oil and gas exploration. In *Computers and Communications, 2009. ISCC 2009. IEEE Symposium on* (pp. 907-912). Retrieved from <http://doi.org/10.1109/ISCC.2009.5202244>
- Seeeduino. (2014). Seeeduino Stalker V2.3. Retrieved from http://www.seeedstudio.com/wiki/Seeeduino_Stalker_v2.3
- Somov, A., Baranov, A., Savkin, A., Spirjakin, D., Spirjakin, A., & Passerone, R. (2011). Development of wireless sensor network for combustible gas monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*, 171(2), 398-405. Retrieved from <http://doi.org/10.1016/j.sna.2011.07.016>
- Subramaniam, S., Nilavalan, R., Balachandran, W., & Khan, S. (2016). Network Performance Optimization Using Odd and Even Routing Algorithm for pipeline network. In *2016 8th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEECE)* (pp. 118-12). Essex, UK.
- Varshney, S., Kumar, C., & Swaroop, A. (2015). Linear Sensor Networks: Applications, Issues and Major Research Trends. In *International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2015)* (pp. 446-451). IEEE. Retrieved from <http://doi.org/10.1109/I4CT.2015.7219572>
- Yi, P., Lizhi, X., & Yuanzhong, Z. (2010). Remote real-time monitoring system for oil and gas well based on wireless sensor networks. In *Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference on* (pp. 2427-2429). Retrieved from <http://doi.org/10.1109/MACE.2010.5535870>
- Yu, H., & Guo, M. (2012). An efficient oil and gas pipeline monitoring systems based on wireless sensor networks. In *Information Security and Intelligence Control (ISIC), 2012 International Conference on* (pp. 178-181). Retrieved from <http://doi.org/10.1109/ISIC.2012.6449735>

Propuesta del mejoramiento de la metodología de manufactura esbelta por medio de optimización de sistemas de manufactura y simulación de eventos discretos¹

Frank Nicolás Delgado Moreno

Grupo de investigación Caypro Facultad de Ingeniería Industrial

Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga

Correo electrónico: Frank.delgado@ustabuca.edu.co

Introducción

La metodología de Manufactura Esbelta (ME) es ampliamente conocida a nivel mundial. Investigaciones en diferentes países se han realizado para mejorar o adaptar en varios aspectos a la metodología ME. El objetivo de este trabajo es presentar un resumen de la metodología de Manufactura Esbelta utilizada en la investigación “Evaluación de los efectos de adaptación y aplicación de la filosofía de manufactura esbelta

-
1. En el capítulo se presentan resultados de la investigación “Evaluación de los efectos de adaptación y aplicación de la filosofía de manufactura esbelta a pymes del sector manufacturero de la ciudad de Bucaramanga” desarrollada por el grupo CAYPRO de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga.

a pymes del sector manufacturero de la ciudad de Bucaramanga”. La investigación fue de enfoque cualitativo con un tipo de estudio de observación no participativo en triangulación entre ME y la metodología “Action Research” (AR); el tamaño de la muestra fue exploratorio de un único caso tipo 1. La necesidad de la implementación de la norma ISO 9000 o un sistema de control administrativo previo a la implementación de ME fue observado.

En Colombia el sector de las mipyme (micro, pequeñas y medianas empresas), representa más del 96% de las empresas existentes a nivel nacional y generan el 80% del empleo del país. El Gobierno nacional hace esfuerzos para fomentar la calidad, productividad y competitividad en dicho sector, brindando apoyo mediante políticas, programas e instituciones de gobierno, haciendo énfasis en proyectos de transformación productiva e innovación tecnológica para mejorar la competitividad y productividad de las empresas (Portafolio, 2008). Las mipymes han avanzado en programas de certificación monitoreados por ACOPI en Sistemas de Gestión de la Calidad; más de 1200 empresas, entre pequeñas y medianas, se han certificado en un Sistema de Gestión de la Calidad en los últimos años (ACOPI, 2010).

Un modelo de desarrollo para el fomento de la productividad y la calidad en la mipyme del sector industrial se lleva a cabo actualmente, mediante un programa de formación y capacitación en la filosofía Lean Six Sigma, promovido por el Centro Nacional de la Productividad (CNP) y dirigido a un grupo de empresarios del sector de las mipymes, con base en la selección por sus competencias, con el objetivo de capacitarlos a través del acompañamiento de expertos, en el desarrollo e implementación de esta filosofía para el mejoramiento de la calidad y la productividad de los sistemas de producción en dichas empresas, creando un modelo de desarrollo para el sector (CNP, 2009).

Siendo ME una de las metodologías del modelo de desarrollo promovido por la CNP, el objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de adaptación y aplicación de la filosofía de manufactura esbelta en pymes del sector manufacturero de la ciudad de Bucaramanga.

Método

El método de investigación fue estructurado de la siguiente forma: Enfoque de la investigación, tipo de estudio, población, tipo de muestra, tamaño de muestra y procedimiento.

Enfoque: El diseño de la metodología de investigación fue de enfoque cualitativo porque se exploran los resultados de la aplicación ME en el contexto de empresas en la ciudad de Bucaramanga.

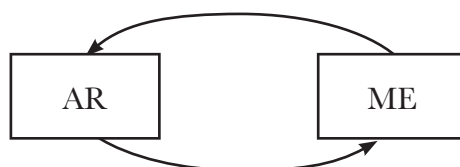
Tipo de estudio: El tipo de estudio es de observación no participativa porque se observaron los resultados sin interferir en ellos (Sampieri, Collado y Baptista, 2009).

Población: La población se enfocó en las empresas de la ciudad de Bucaramanga consideradas mipyme debido a que representan el 96% de las empresas en Colombia y generan el 80% del empleo en el país (Portafolio, 2008).

Tipo de muestra: El tipo de muestra es intencional (Padua citado en Kazez, 2009) y por conveniencia, este tipo de muestra “son el producto de selección de casos según el criterio del experto” (Sampieri, Collado y Baptista, 2009, p. 571), con base en el anterior concepto, los criterios del investigador fueron los siguientes: cualquier tamaño de empresa que perteneciera a mipyme, facilidades de ingreso a la empresa para observación de la investigación y que los productos de la empresa fueran de tipo discreto; por esta razón según los criterios del experto de la investigación fue escogida una empresa con 20 empleados del sector del vidrio en el área de fabricación de vidrio templado para vehículos.

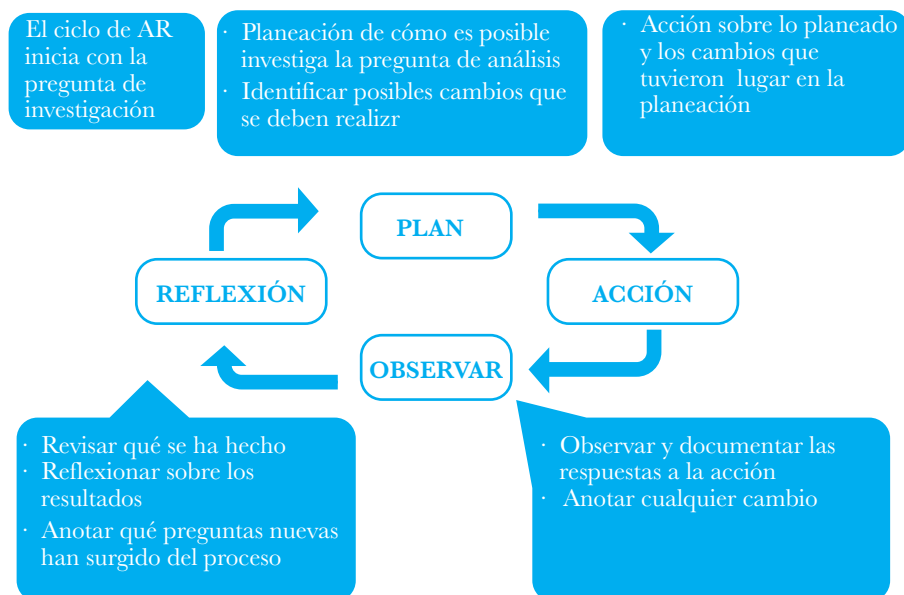
Tamaño de la muestra: El tamaño de la muestra corresponde a un único caso tipo 1, exploratorio - atóxico, donde lo que se busca es describir únicamente sin ningún interés de generalizar ni formular hipótesis (Yin, 2005).

Procedimiento: El diseño de la investigación está basado en la triangulación de métodos, con una orientación hacia el “desarrollo” (Coats, 2005); esta triangulación enfocada al “desarrollo” consiste en que “el primer método es usado secuencialmente para ayudar a informar al segundo método” (Coats, 2005, p. 61).

Figura 1. *Triangulación de AR y ME*

Fuente: Elaboración propia.

La figura 1 muestra que el primer método está basado en el modelo de investigación “Action Research”, este diseño de investigación permite investigación y mejoras inmediatas (Coats, 2005), y está basado en una secuenciación en espiral sucesiva de ciclos (Sandín, 2003). La secuenciación puede observarse en la figura 2.

Figura 2. *Guía para la implementación de AR*

Fuente: Coats, 2005.

La figura 2 muestra la metodología AR con los pasos que se siguieron durante su desarrollo. AR constituye el “primer método” que informó al “segundo método” ME; para la selección del segundo método fueron observadas las principales metodologías cuando eran aplicadas, también fue observado un modelo de interés del investigador, posteriormente a las observaciones y documentación de las principales metodologías y modelo fueron evaluadas (tabla 1).

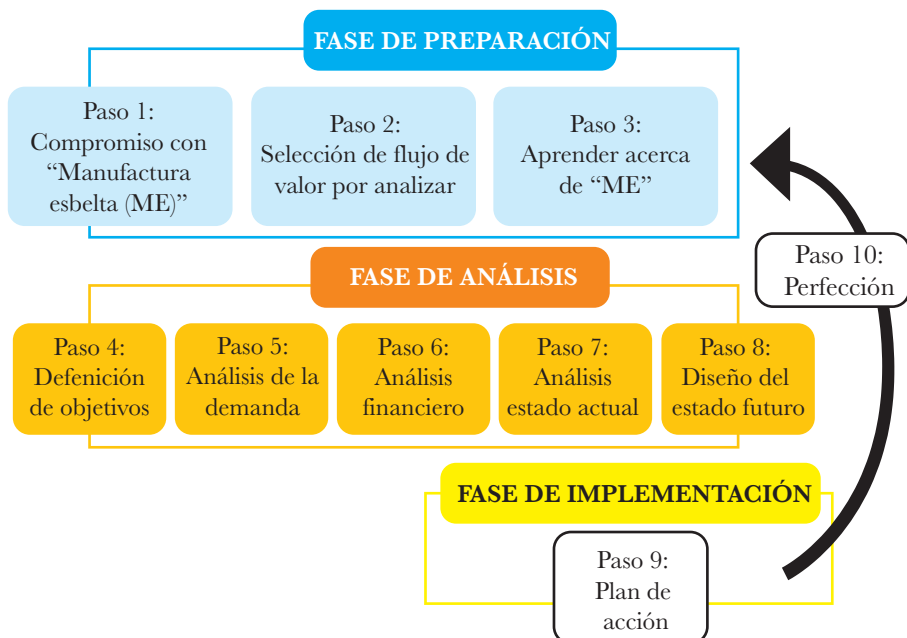
Tabla 1. *Evaluación comparativa de las metodologías ME preseleccionadas*

Descripción	Tapping	Nigel	Liker	Sánchez
Compromiso de manufactura esbelta	√			√
Valor del producto			√	√
Flujo de valor	√	√	√	√
Hacer fluir el producto			√	√
Proveer la orden del cliente			√	√
Aprender acerca de manufactura esbelta	√			√
Definición de objetivos y resultados de la implementación de ME	√			√
Análisis financiero				√
Análisis de la demanda	√			√
Análisis de flujo de valor del estado actual	√	√		√
Diseño del estado futuro	√			√
Plan de acción	√			√
Búsqueda de la perfección	√	√	√	√

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 1 muestra las metodologías finalistas y la comparación del desenvolvimiento de las mismas durante la observación de los casos cuando fueron aplicadas con base en los resultados de la evaluación comparativa. El segundo método escogido fue el modelo de Sánchez (2005).

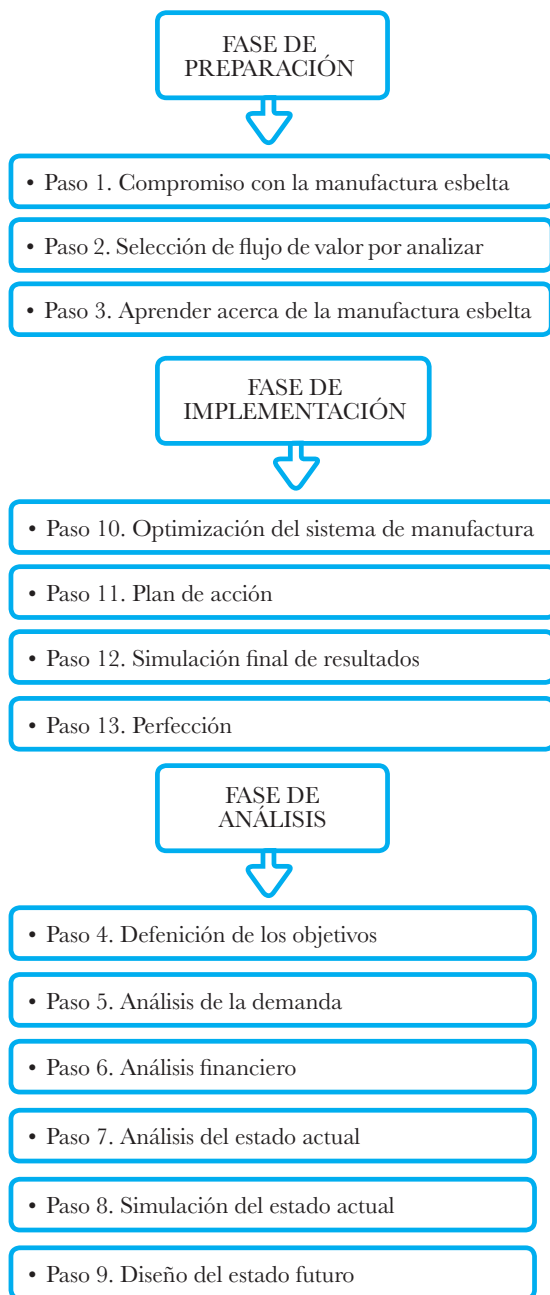
Figura 3. Metodología seleccionada para punto de partida de la investigación en mipyme



Fuente: Sánchez, 2005.

La figura 3 muestra los pasos internos que conforman la metodología basada en el modelo de Sánchez y los cuales fueron observados durante el desarrollo de selección de la metodología. Con base en la metodología seleccionada se planteó una metodología para desarrollar la investigación de acuerdo con el contexto de la ciudad de Bucaramanga y a los aspectos observados en la investigación que el autor consideró relevantes observar.

Figura 4. Metodología propuesta para aplicación de ME en mipyme

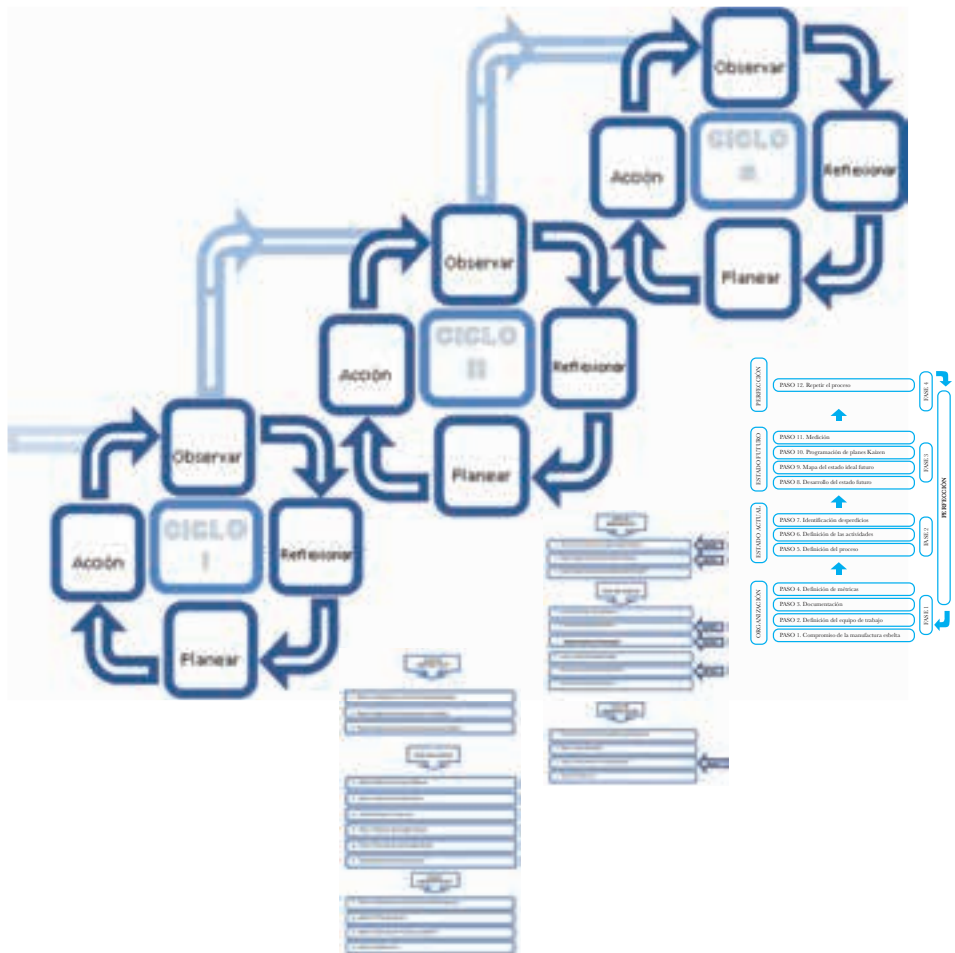


Fuente: Elaboración propia.

La figura 4 muestra la metodología propuesta para el desarrollo de la investigación con base en la metodología seleccionada. La metodología propuesta fue cambiando de acuerdo con el comportamiento observado de la metodología en cada ciclo del método AR, se realizaron 3 ciclos.

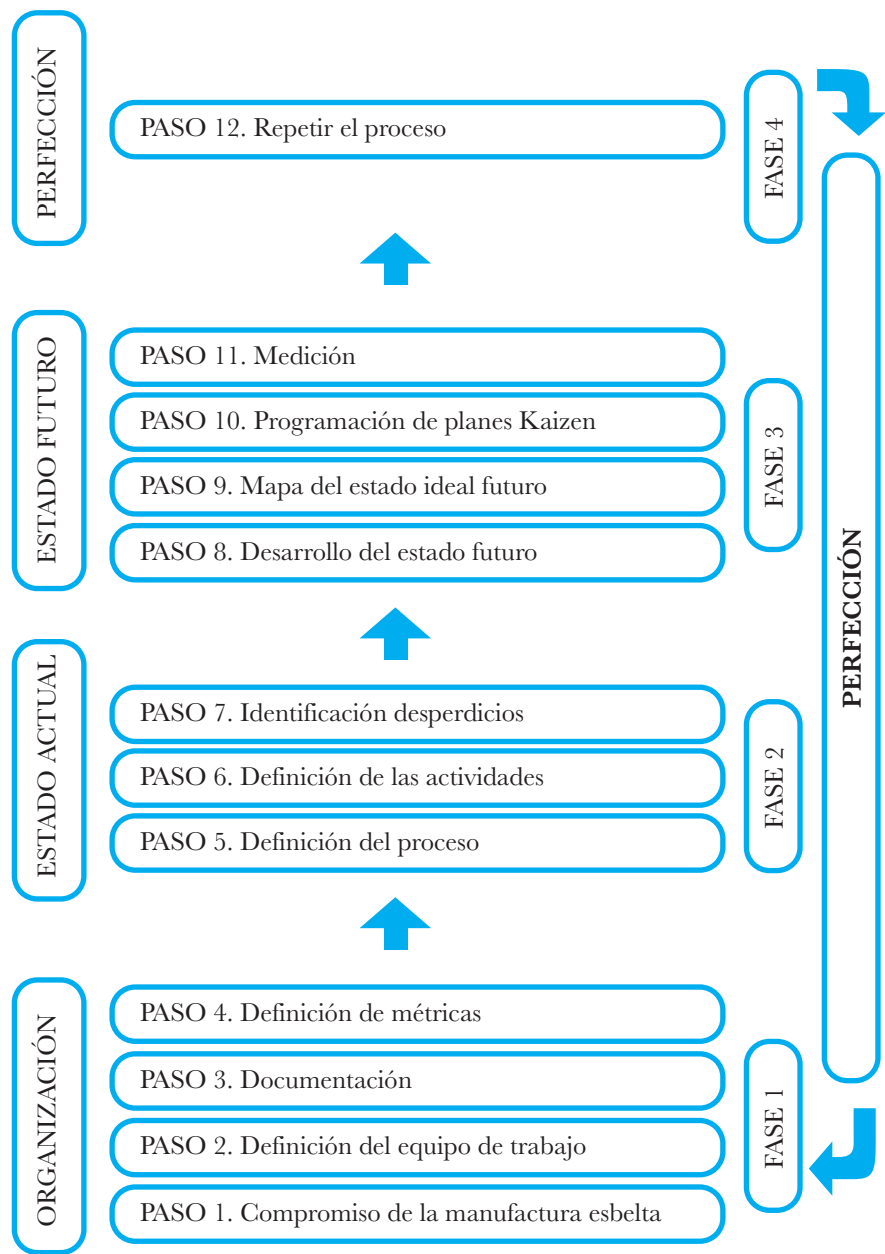
La figura 5 muestra los ciclos de la metodología AR aplicados al caso de estudio; se observa también los esquemas de los cambios sobre la metodología propuesta en un principio (figura 4).

Figura 5. *Los tres ciclos de la metodología AR desarrollados y aplicados en el caso de estudio. Modificado de Coats del Modelo de “Action Research”*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Metodología ME final de resultado después de los ciclos desarrollados de AR



Fuente: Elaboración propia

La figura 6 muestra la metodología ME aplicada al caso de estudio de la mipyme; esta metodología fue el resultado de la observación del desarrollo del caso de estudio a lo largo de los tres ciclos de la metodología AR (figura 5).

Resultados

A la metodología propuesta en el ciclo 1 le fueron agregados tres pasos: simulación del estado actual, optimización del sistema de manufactura y simulación final de resultados.

En el Paso 1. Compromiso de la manufactura esbelta, se identificó que la Mipyme-Caso carecía de información y compromiso con la metodología propuesta, lo que le impedía comprometerse con el desarrollo de la misma (Tapping, Luyster & Shuker, 2002).

En el Paso 2. Selección del flujo de valor, se identificó que la Mipyme-Caso no tiene identificados los productos que ofrece, ni identifica las cantidades vendidas por producto y desconoce las demandas de los diferentes productos en algún tiempo determinado.

En el Paso 5. Análisis de la demanda, la documentación se realiza en libretas en las cuales es difícil la depuración de información.

En el Paso 6. Análisis financiero, la Mipyme-Caso no tiene datos organizados que permitan obtener una comparación financiera en el caso EBIT y ROKA.

En el Paso 8. Simulación del estado actual, se observó que la Mipyme-Caso tiene alta lentitud en sus procesos, lo que no amerita el enfoque a simulación del estado actual.

Discusión

Fue desarrollada una metodología de triangulación cualitativa entre AR y ME, la triangulación presenta tres ciclos de desarrollo; se agregaron pasos de simulación del estado actual, optimización del sistema de manufactura y simulación de los resultados.

Se observó que los pasos incluidos no eran necesarios para la Mi-pyme-Caso, debido a la baja demanda del caso de estudio, según Castellon (2005). La ausencia de compromiso de la gerencia fue observada durante el desarrollo de la metodología, lo cual influye en el éxito o en el fracaso de la aplicación de la metodología, de acuerdo con Tapping, Luyster & Shuker (2002).

La necesidad de organización de los procesos de empresa caso de estudio fue observada; este resultado coincide con el concepto de implementar un sistema de control administrativo antes de cualquier mejora a una empresa (Decarlo, 2007).

Conclusión

La metodología de ME para pyme respecto al caso de estudio no requiere de pasos en simulación, optimización y simulación de resultados, debido a la baja demanda que se observa.

Reforzar los pasos de compromiso con la manufactura esbelta, selección del flujo de valor, análisis de la demanda y análisis financiero de acuerdo con este tipo de casos es el paso por seguir en estudios futuros.

La necesidad de un sistema administrativo de control sobre los procesos es evidente y se presenta como dificultad para aplicación de ME, la ausencia de este tipo de sistemas puede incidir en el éxito o fracaso de la aplicación de la metodología ME.

Referencias

- Asociación Colombiana de Pequeños Industriales - ACOPI. (2009, noviembre 15). *Calificación de Calidad*. [En línea]. Abaco Net Group 01. Recuperado de <http://www.businesscol.com/empresarial/pymes/>
- Castellón, I. (2005). *Simulación de redes de computadores aplicado a la docencia*. [En línea]. México: Instituto Tecnológico de Monterrey. Recuperado de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r23370.PDF> NO ES EL LINK
- Centro Nacional de la Productividad - CNP. (2010, enero 3). Eficiencia en Pymes a través de Lean Seis Sigma. [En línea]. Recuperado de <http://www.cnp.org.co/eficiencia-pymes-a-traves-lean-six-sigma>

- Coats, J. (2005, diciembre 5). *Acción research a guide for associate lecturers*. [En línea]. Inglaterra: The Open University. Recuperado de <http://repositorio.minedu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/3590/Action%20Research%20A%20Guide%20for%20Associate%20Lecturers.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Decarlo, N. (2007). *The complete idiot's guide to idiots*. Estados Unidos de América: Alpha.
- Kazez, R. (2009). Los estudios de casos y el problema de la selección de la muestra: Aportes del sistema de matrices de datos. *Revista Subjetividad y Procesos Cognitivos*, 13(1), 77-89.
- Lijphart, A. (1971). Comparative politics and the comparative method. *The American Political Science Review*, 65(3), 682-693.
- Revista Portafolio (2008, marzo 28). Mipymes y la economía colombiana. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo 2007-2010. [En línea]. Recuperado de <http://www.portafolio.co/archivo/documento/CMS-5299348>
- Sánchez, R. (2005). *Metodología integral de la implantación del sistema de manufactura esbelta*. (Tesis Maestría en Ciencias de Calidad y Productividad), Instituto Tecnológico de Monterrey, Monterrey.
- Sampieri, C., Collado, C., y Baptista, P. (2005). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana de México.
- Sandín, M.P. (2003). Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y tradiciones. *Revista de Pedagogía*, 26(77), 258.
- Yin, R. (2003). *Applications of Case Study Research*. Los Ángeles: Sage.
- Tapping, D., Luyster, T., y Shuker, T. (2002). *Value Stream Management*. Estados Unidos de América: Productivity Press.

La valoración ambiental en la conservación de los bienes y servicios ambientales¹

Eduardo Mantilla Pinilla

Grupo de investigación INDERCON, Facultad de Contaduría Pública

Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.

Correo electrónico: Eduardo.mantilla@ustabuca.edu.co

Introducción

Instaurar mecanismos que soporten estrategias de conservación de ecosistemas generadores de Bienes y Servicios Ambientales - BSA, mediante compensaciones económicas y Pago por Servicios Ambientales - PSA implica aproximar valores a partir del reconocimiento de los ecosistemas y las condiciones socioeconómicas de su contexto, con el fin de establecer bases efectivas para que el pago sea el instrumento que incentive la conservación.

-
1. El Capítulo presenta resultados de la investigación “Instrumentación jurídica y normativa fiscal, para el pago por servicios ambientales, hacia la sostenibilidad ambiental”, desarrollado por el grupo de investigación INDERCON, de la Facultad de Contaduría Pública de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga con participación de: Eduardo Mantilla Pinilla; Leidy Karina Pérez Trejos; Roberto Agudelo Pinzón, José Joaquín Alzate Marín, Diego Andrés Gómez Duran y Viviana Eugenia Cardona Mancilla.

El Trabajo se ha presentado en el 1º Simposio Internacional de Investigación Contable (Universidad de Cartagena, ISBN: 978-958-8583-10-5), y VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo (La Habana, Cuba, ISBN 978-959-300-018-5).

Si bien, los problemas ambientales no deben ser simplemente una preocupación regional y nacional, por la connotación global, los correctivos serán resultado de la voluntad política gubernamental, quienes con acciones de orden local y regional aportan a la solución del problema planetario. En efecto, como la crisis por el cambio climático es consecuencia de la sumatoria de acciones individuales de cada nación, la corrección debe ser el resultado de los esfuerzos particulares de los diferentes Estados y en proporción a sus cargas e impactos; debiéndose asumir y conjugar la Responsabilidad Social - RS de todos y cada uno de los actores sociales en el quehacer y la racionalidad económica.

De ahí, que sea fundamental que en toda nación se corrija en la medida de las proporciones, la incertidumbre sobre el futuro de la humanidad, asumiendo con compromiso la evaluación y ejecución de alternativas y políticas, que jalonen la sostenibilidad ambiental en las diferentes regiones, aportando a la sostenibilidad nacional y planetaria, como acción ineludible para desacelerar y corregir la nefasta contaminación global, asumiendo la conservación, mantenimiento y recuperación de escenarios naturales.

El aseguramiento de la sostenibilidad ambiental implica diversas acciones, ya que la corrección del daño causado al contexto natural es una opción que no permite la recuperación total, dejando secuelas inevitables, de ahí que la preservación sea necesidad ineludible y, en especial en aquellos ecosistemas que por su fragilidad ponen en riesgo la disponibilidad de BSA fundamentales para la vida humana, lo cual obliga a la orientación de la racionalidad económica a decisiones que eliminen todo riesgo en el contexto natural, de aquellos elementos básicos e insustituibles en la supervivencia humana y demás especies de vida, por ende viabilizar la deseada sostenibilidad ambiental.

La importancia de conservar ecosistemas fundamentales en la disposición de BSA no transables en los mercados, ha despertado en el ámbito mundial la alternativa del PSA, como acción persuasiva de la explotación de ecosistemas importantes en la generación de BSA de carácter público y, fundamentales en la sostenibilidad del desarrollo; sin embargo, hacerlo viable y perdurable requiere de que la base del pago sea coherente con los intereses de quienes ostentan el dominio sobre el

suelo donde yacen los ecosistemas objeto de conservación, más aún en sociedades donde coexiste la propiedad privada con el derecho social sobre los bienes naturales renovables y no renovables como el caso colombiano, donde está por mandato constitucional establecido. De hecho, la consolidación en la disposición de ecosistemas, que garanticen la disposición y calidad de BSA, exige políticas económicas con función social y ambiental.

Es necesario instrumentar un PSA, que viabilice la conservación de ecosistemas estratégicos, un pago que persuadan a la propiedad privada para conservar en lugar de explotar, en lo cual el costo de oportunidad resulta ser una alternativa que lo viabiliza, al conciliar los intereses económicos de los propietarios de los suelos donde yacen los ecosistemas ofertantes de BSA, con la retribución fijada.

En efecto, aquí se expone la valoración ambiental como base para que el PSA se convierta en estrategia para la conservación de importantes ecosistemas, básicos en la sostenibilidad ambiental del desarrollo, teniendo en cuenta el resultado de investigaciones y experiencias de valoración en ecosistemas estratégicos que se encuentran localizados en zonas de una importante dinámica económica, en lo cual queda demostrado la pertinencia del costo de oportunidad en la definición de la base para fijar el PSA, como política viable que motive la conservación de los BSA, con ventajas frente a métodos de valoración ambiental aceptados.

Aunque en la definición de la base para el PSA el costo de oportunidad resulta ser importante alternativa, su implementación requiere que desde las zonas objeto de conservación, por su importancia en la disposición de BSA, se promuevan políticas públicas para la implementación de dicho pago, soportándose en este método y bajo reglas precisas que en la práctica coadyuven a la conservación. Si se exhorta a tener en cuenta el costo de oportunidad expuesto en este capítulo, es porque no se riñe con los intereses de los propietarios de predios donde yacen los bienes ofertantes de los imprescindibles servicios ambientales para la vida, al estimular la conservación, por desvío del interés pecuniario de explotación por recibir el pago.

Referentes que orientan la valoración ambiental

Antecedentes

Los temas ambientales son tenidos en cuenta por la Organización de las Naciones Unidas - ONU, solo a partir de 1968, cuando se convoca la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano, realizada en Estocolmo, Suecia (1972), evento a partir del cual se crea el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA y, once años más tarde (1983) se crea la Comisión Mundial sobre Medioambiente y Desarrollo, la cual en 1987 hace entrega del informe Brundtland, que motivó la convocatoria de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Cumbre de la Tierra) realizado en Río de Janeiro Brasil en 1992. Evento en el que se acuerdan tres aspectos relevantes, que marcan pautas de políticas nacionales y acuerdos internacionales: programa 21; la declaración sobre medioambiente y desarrollo y, la declaración de principios relativos a los bosques.

En efecto en la cumbre se pacta el desarrollo sostenible definido en el Informe Brundtland - 1987, como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, adoptado en Colombia y contemplado en la Ley 99 de 1993, artículo 3°, definido como “el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades”, siendo base de las políticas ambientales de hoy.

No obstante, los acuerdos mundiales, la legislación y la normatividad nacional de Colombia, las formas como se enfrenta el problema ambiental, no ha eliminado el riesgo de poner en peligro la sostenibilidad ambiental, propiciando espacios para la generación y aplicación de herramientas que conlleven conservar los escasos ecosistemas que proveen los BSA vitales en la calidad de vida humana y, así poder mantener la dinámica ambiental desde las regiones al planeta, teniendo en cuenta la concepción basada en el principio de Estado social de derecho y no desde el ambiguo Estado liberal de derecho, desarticulando así, el mate-

rialismo para dar paso a un Estado de derecho humanista, que responda a las dificultades sociales y ambientales que comprometen la supervivencia y bienestar humano, y de esta manera atender el llamado de la ONU, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo - CNUMAD.

En particular, el tema de BSA se ha estado tratando de manera diferenciada, con algunas imprecisiones al pretender articular al concepto, elementos exógenos más con propósitos de introducir normas o regulaciones mercantiles, como el caso de la Organización Mundial de Comercio “OMC”, que incorpora definiciones en orden al dinamismo tecnológico, educativo y consultoría entre otros, para el manejo ambiental y orientar políticas aduaneras, que si bien son importantes a la hora de conservar o recuperar el ambiente, no corresponden a los legados directos que hace la naturaleza a las personas, para la supervivencia y bienestar humano.

De ahí, la necesidad de establecer procesos que hagan posible aproximar el valor para la conservación de los BSA, en procura de una disposición permanente dada su importancia y, que sirva como herramienta para avanzar en la persuasión de quienes ostentan la propiedad, posesión o el dominio sobre los ecosistemas, para que no los exploten. La importancia de fijar valores eficientes en los propósitos de sostenibilidad de los BSA, se remonta a la necesidad de integrar los legados que la naturaleza hace al hombre, a los procesos de evaluación sobre cómo se está enfrentando el problema de la conservación ambiental con fines de supervivencia en el marco del desarrollo; pues si bien, estos son dones por creación espontánea, su uso errado por intereses del capitalismo especulativo, obliga incorporar una racionalidad económica, coherente con el desarrollo.

No obstante, ser el tema de disposición de BSA, materia de estudio reciente, estos en esencia surgen con la misma vida en el planeta, el hombre desde la creación trae consigo necesidades, que solo ha logrado satisfacer desde la relación que ha establecido con la naturaleza, con el uso y consumo de los diferentes materiales tangibles e intangibles que le proporciona su entorno natural; elementos que por su capa-

cidad para satisfacer necesidades adquieren la categoría de bienes². Es innegable que el hombre desde que habita la tierra, para asegurar su supervivencia al igual que los demás seres vivos, debió proveerse de los distintos elementos tangibles e intangibles, que solo la naturaleza podía brindar, dependiendo de las bondades de su propio medio natural, pero gracias a que se relacionó con esta, no como ser individual, sino como ser social y con capacidad racional, fue iniciando los procesos de explotación y transformación.

Cuando los seres humanos logran el aparente dominio sobre la naturaleza, al asumir su explotación extensiva e intensiva y la transformación de los diferentes elementos que la componen, emprenden una lucha no solo para supervivir, sino para vivir con superioridad, tratando de mejorar su calidad de vida y bienestar con la acumulación, mediante la apropiación de los elementos de la naturaleza y los bienes que de ella se derivan, asumiendo durante su historia, diferentes formas de producción y organización, lo cual le ha permitido avanzar con dinamismo en la adopción de procesos productivos, con la constante innovación y creación de satisfactores, con lo que logra proveerse, no solo de los diferentes bienes que le colman sus propias necesidades, sino consiguiendo concentraciones significativas de excedentes con apreciables estándares de acumulación y riqueza.

Ese afán por aumentar la riqueza en el marco de una racionalidad económica equivocada, al considerar los bienes naturales como inagotables y en condición de bienes libres, hacen hoy incierto el futuro del planeta; al construir un medio hostil, resultado de una marcada, inapropiada e intensiva explotación de la naturaleza y constantes descargas de contaminantes sobre ella, poniendo de manifiesto el agotamiento y alteración del capital natural tanto renovable como no renovable. Es de ahí, donde se debe derivar el análisis del PSA, si se pretende estimular la conservación de ecosistemas ofertantes de servicios ambientales, al compensar el sacrificio económico y garantizar la disposición permanente de estos, fundamental en la satisfacción de necesidades irrenunciables en los procesos de supervivencia.

2. Bien: es todo elemento material capaz de satisfacer una necesidad, mediante su uso directo o indirecto, reportando valor de uso o utilidad; las diversas categorías de bienes han sido introducidas a lo largo de la evolución de las diferentes ciencias.

La búsqueda de soluciones al problema de supervivencia se ha convertido en un tema difícil, al primar los intereses económicos especulativos y materialistas, sin importar que las acciones estén afectando la naturaleza, al atender los desatinos del pensamiento económico liberal (capitalista), no obstante, las bases teóricas que lo sustentan procuran la solución al problema del bienestar y la supervivencia humana, pero que en el proceder particular de las unidades económicas es causante de profundos desequilibrios sociales, acentuados en el flagelo de la pobreza y un conflicto ambiental sin precedentes. Pareciera que se desconoce que es en la naturaleza que se legitima la supervivencia humana y se asegura el bienestar, al comprender la oferta natural de materiales (bienes) y servicios, imprescindibles para la satisfacción de todas las necesidades vitales del hombre y demás seres vivos, mediante consumo o uso directo y como insumos o materiales necesarios en todo proceso productivo.

La naturaleza y el ambiente se encuentran comprometidos hacia la eficiencia de la actividad económica y supervivencia humana, aunando contradicciones al avance en los propósitos de la sostenibilidad del desarrollo económico, consecuencia de errores históricos en las dinámicas socioeconómicas, las que en esencia han conllevado una noción vaga del desarrollo, al concentrarse sobre las cosas o satisfactores materiales de necesidades y medios de acceso y, no sobre su origen y tipología; desconociendo el papel que juega el contexto natural o ambiental en la supervivencia y bienestar humano y, que en realidad el desarrollo se refiere es a las personas y no a las cosas (Max-Neef, 1993).

La comprensión del impacto de los procesos de producción y la acción humana sobre los ecosistemas, así como la determinación de los límites para la existencia de la vida, irrumpe recientemente en la investigación científica y la preocupación política, lo cual deja en evidencia la necesidad de incluir dentro de la racionalidad económica el tema ambiental, al quedar demostrado que la sobreexplotación y mal uso del capital natural, como la alteración de la calidad ambiental, son resultado de una racionalidad económica excluyente, acumulativa de capital especulativo con la consecuente devastación paulatina de las bases ecológicas de producción; lo cual hace incierto el mismo sistema económico, e induce a la exigencia de integrar el contexto económico, social y

ambiental (dimensiones del desarrollo), como una unidad sistémica, a la teorización del desarrollo nacional, y se interprete que avanzar en este es viable en la medida que todas las ciencias se encausen a su sustentabilidad, y aseguren que los procesos económicos y sociales garanticen la sostenibilidad de las dimensiones del desarrollo.

Por consiguiente, si es la concepción económica la propiciante de la afectación del medio natural, haciendo incierto el futuro del planeta, los postulados de economía se deben revisar, para que sean estos los que se encarguen de establecer las pautas para la recuperación y reducción de efectos negativos en el planeta y la vida en él; por lo que la ciencia económica debe ser abordada desde las bases ecológicas de producción, con reconocimiento de la relación hombre-naturaleza, en su importancia en el intercambio natural de los BSA fundamentales para la supervivencia humana, el suministro de todo material a los procesos productivos y, un eminente agotamiento y deterioro de la naturaleza por explotación y disposición de los residuos resultantes de las actividad económica y humana. En este sentido, y en particular adherir a la economía temas como las condiciones ambientales, la generación de beneficios directos por oferta natural de BSA y costos ecológicos, implica la necesidad de caracterizar procesos en y desde la sociedad, quien es la que otorga valor a la naturaleza.

Como una importante contribución a la medición de los efectos y condiciones ambientales por acciones humanas y, como indicador clave en la evaluación de la sostenibilidad, en 1996 William Rees y Mathis Wackernagel conceptuaron la Huella Ecológica. Esta aporta un significativo indicador ambiental que expresa los efectos de las demandas humanas sobre el planeta en referencia a su capacidad ecológica; permitiendo establecer índices individuales o colectivos de la forma de vida en relación con la presión que ejerce sobre el sistema natural, en contextos regionales y del planeta.

De hecho, la huella ecológica es un importante concepto para la construcción de indicadores para hacer comparaciones entre sociedades o naciones y en las tendencias históricas en el uso de la naturaleza, permite una cobertura sobre todos los elementos de la naturaleza y de estándares en la demanda individual de servicios ambientales, pero re-

sulta complejo y a veces imposible el cálculo, al involucrar indicadores sobre beneficios sociales, económicos y ambientales que definen el valor de la naturaleza en comparación con parámetros económicos expresados en medida monetaria, así como los BSA y costos por contaminación. Sin embargo, la huella ecológica puede articular índices de costos ambientales y del valor de la preservación de los BSA, como evidencia de sostenibilidad en la relación hombre-naturaleza, el bienestar social y calidad de vida; así como facilitar el ajuste de variables y parámetros que complementen la valoración ambiental con enfoque tanto histórico como prospectivo, posibilitando comparaciones parciales de condiciones naturales con la proyección económica, así como pronosticar en el tiempo la sostenibilidad ambiental del planeta, en relación con las actitudes humanas y presiones sobre la naturaleza.

Concepto de Bienes y Servicios Ambientales - BSA

En el tema de BSA hay marcadas ambigüedades que distorsionan la orientación de la política ambiental; mientras para la organización Mundial del Comercio (OMC), el concepto de BSA corresponde a las tecnologías y servicios en la gestión ambiental, donde priman la regulación del mercado mundial de estos, y no la disposición de ecosistemas y la calidad de BSA trascendentales al hombre.

La definición de los BSA desde el aporte de la naturaleza al hombre, -N°H-, otorga importancia a los beneficios que la naturaleza brinda al ser humano en la satisfacción de sus necesidades, con suministro de elementos materiales –Bienes Ambientales– e inmateriales –Servicios Ambientales–; siendo esta concepción la que encierra la adopción de métodos que posibiliten la aproximación de valores, bien sea de los elementos y beneficios no transables que de estos se obtengan, o del aseguramiento de los mismos, con excepción de los que se pueden obtener en los mercados, cuyo valor (precio) depende de la oferta y la demanda, atañendo a este grupo, los bienes que provienen de la naturaleza, que por sus características son individualizables o de goce privado.

De otra parte, la concepción de la OMC otorga importancia al papel del hombre en la naturaleza - H°N, definiendo los servicios ambientales, como las acciones humanas para manejo y protección de los ecosiste-

mas y, tecnologías ambientales creadas con la intención de mantener, recuperar y conservar el capital natural y el ambiente; teniendo propósitos de regulación mercantil, en apoyo de la industria de tecnologías ambientales en la vía de globalización, lo cual corresponde en realidad es a bienes y servicios para el ambiente (BSpA). Por su parte la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico - OCDE establece que los BSA sirven para medir, prevenir, conservar y paliar el impacto ambiental, como contaminación del agua, del aire, del suelo, así como los problemas por residuos, ruido y daños a los ecosistemas, por lo que corresponden las tecnologías, productos y servicios que reducen los riesgos para el medio ambiente, minimizan la contaminación y ahorran recursos, estos bienes y servicios son incorporados en el listado de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo - UNCTAD, 2003, adicionando productos considerados de potencial exportador para países en desarrollo³.

Los BSA deben ser diferenciados de los BSpA; por la relación con la vida y ser inherentes a los ecosistemas y resultantes de la interacción natural entre sus componentes y el hombre. Mientras los BSpA atañen a la intervención del hombre en la naturaleza, mediante el desarrollo de tecnologías que aplicará sobre determinado ecosistema o ámbito, que si bien, son de trascendencia para el manejo sostenible de la naturaleza, estos son desarrollados por el mismo hombre y con la innovación, la ciencia y la tecnología no sería motivo de preocupación. Si bien, estos son de marcada relevancia en la búsqueda de la sostenibilidad, al procurar la recuperación o evitar el deterioro ambiental por las empresas, no es suficiente en una política eficiente de sostenibilidad ambiental, pues son los BSA de carácter público, como la captación de CO₂, la liberación de oxígeno, esenciales para la vida, así como el agua, los elementos bióticos y los abióticos, que al afectarse por pérdida o contaminación ponen en riesgo la calidad de vida humana y el futuro del planeta y, en la mayoría de los casos su reposición absoluta resulta una utopía. En consecuencia para avanzar en los propósitos del PSA, de aquí en adelante se hará referencia a los BSA.

3. UNCTAD.ORG. www.unep-unctad.org/cbtf/events/lima/BAUnctad-Castells

En sí, los bienes ambientales son aquellos elementos materiales que proporciona la naturaleza directamente y suplen las necesidades humanas por consumo directo o como insumo en procesos productivos de otros satisfactores; un ejemplo, es que los bosques naturales aportan elementos tangibles de uso colectivo o privado como material vegetal, madera, leña, agua y especies animales, entre otros, los cuales son individualizables y privatizables por lo que se comercializan, definiendo su valor en el mercado, o sea tienen valor de uso y valor de cambio.

Los servicios ambientales corresponden a los intangibles resultantes de la función intrínseca de los ecosistemas, no se gastan con su uso y son trascendentales en la supervivencia humana, generalmente por beneficio directo e indirecto o por consumo común o colectivo, como ejemplo se observa que los bosques en su función natural contribuyen a liberar oxígeno, secuestro y almacenamiento de carbono, defensa de la biodiversidad, protección de cuencas hidrográficas y belleza escénica, entre otros.

Es de precisar, que no todas las funciones de los ecosistemas y de los elementos que los forman, pertenecen a la categoría de servicios ambientales; hay funciones intrínsecas en los ecosistemas que lo que hacen es mantener la dinámica natural del mismo, que si bien es cierto, el beneficiado siempre es el hombre, no son fácilmente apreciables las dimensiones de estas funciones con su bienestar. De hecho, la flora interviene como despensa alimentaria y hábitat para la fauna, protección del suelo y el agua, entre otras; la fauna ayuda a la polinización, la reproducción vegetal natural y autorregulación poblacional de especies, entre otras funciones también trascendentales en la vida generacional en el planeta, pero no apreciables en la relación directa e indirecta con el hombre.

Los servicios ambientales en esencia no son individualizables ni privatizables, son de uso colectivo, indirectos e involuntarios, los individuos dependen de ellos para su supervivencia; no son transables en mercados, con su uso la posibilidad de conflicto o exclusión de consumo, pues la

utilización por parte de unos no afecta el consumo de los demás, lo que les otorga el carácter de bienes públicos⁴.

Contabilidad y valoración ambiental en la conservación de los BSA

Una política ambiental con fines de sostenibilidad implica contar con un sistema de información que aproxime datos sobre la realidad ambiental de cada región, que sea compatible con la información económica y social, suministrada por sistemas contables. Específicamente, se requiere contar con un sistema de Contabilidad Ambiental como sistema de información que exprese las condiciones ambientales y sus cambios; lo cual implica adoptar métodos de valoración monetaria, de tal forma que aproximen el valor del capital natural –patrimonial ambiental–, sus cambios –costos ambientales– y la disposición de BSA; valores comparables con los procesos económicos, como herramientas en la toma de decisiones. Sin embargo, establecer el valor de la naturaleza, sus beneficios y cambios, en términos monetarios es quizás el tema más complejo dentro del análisis del desempeño de una economía, cuando se pretende evaluar sus avances en el desarrollo con sostenibilidad.

Si la dinámica económica se mide en términos monetarios, todos los efectos sociales y ambientales se deben medir en patrones similares, de lo contrario, los datos serían incomparables y conducirían a decisiones subjetivas en favor de los intereses particulares, careciendo de una importancia relativa para redireccionar la política de sostenibilidad.

Al reconocer el origen del conjunto de bienes y servicios que se producen e intercambian en un país y, que constituyen el Producto Interno Bruto - PIB, es de relevancia el papel de la naturaleza, puesto que ningún material utilizado en el planeta tiene origen diferente al de la naturaleza; no obstante, la racionalidad en la economía no contempla el valor de los aportes que hace la naturaleza de manera directa, si para su

4. Bien público: es aquel que es consumido por unos, sin afectar el consumo de los demás, e independiente de la capacidad de adquisición de las personas, Salvatore, Microeconomía 3ª ed., pp. 404-405.

usufructo o beneficio no intervienen los mercados y, si así fuere, el valor por la función natural, distaría del que en estos se define, por su trascendencia y beneficios, lo cual no se precisa en los precios.

La utilidad económica que se atribuye y realmente se obtiene de la naturaleza, es solo un reflejo parcial del aporte que esta hace al bienestar de la humanidad; en realidad, son los ecosistemas los que contextualizan, rigen y perpetúan la vida en el planeta, por las dinámicas resultantes en la interrelación natural, colocando así en evidencia que la naturaleza como ofertantes naturales de BSA no transables por sus características intrínsecas, pero esenciales en la supervivencia humana, pertenecen a una categoría de bienes, superior a la de bienes económicos, por lo que deben ser tratados de manera diferente, en su valoración. En este orden, en la naturaleza se definen tres tipos de beneficio que determinan su valor: Beneficio ambiental, Beneficio social, Beneficio económico.

Teniendo en cuenta los beneficios que aporta la naturaleza al ser humano, el determinar el valor monetario de estos en forma integral hace necesario aclarar que los servicios son beneficios intangibles que recibe el hombre en la función intrínseca ecosistémica, y no son objeto de intercambio en los mercados, por tanto, no poseen valor de cambio o precio, implicando que valorarlos o aproximar su valor contempla una cuantía que dista del valor de los beneficios económicos que se puedan obtener como bienes transables en mercados. De ahí que lo realmente importante es aproximar el valor en coherencia relacional e integral; la relación hombre naturaleza - H-N en un contexto ambiental, económico y social. En la razonabilidad para definir un valor ambiental aproximado se deben observar variables, como: costos de recuperación, de reposición, de oportunidad; beneficios y externalidades económicos, sociales y ambientales.

Valoración ambiental

La valoración de la naturaleza y el ambiente en términos monetarios debe recaer en el bienestar humano, el cual depende de las características de los BSA que brinda la naturaleza, así como su conservación encuentra en la tasación del PSA como una alternativa viable que busca que quienes tienen el dominio, propiedad o posesión, de escenarios don-

de yacen importantes elementos naturales que ofertan de manera natural BSA, adquieran el compromiso de protegerlos y con ello asegurar su permanencia, lo cual exige parámetros o valores que posibiliten definir el valor del pago, que conduzca al propósito.

Determinación del valor de los bienes

De gran discusión en el tiempo ha sido la conceptualización sobre origen y determinación del valor de los bienes y servicios, como constitutivo de las diferentes teorías sobre el valor. Antes de referir cualquier postura teórico-conceptual es importante revisar los orígenes de los conceptos en la relación sujeto-objeto; pues existen miradas desde el subjetivismo axiológico (el objeto por sí solo carece de valor, es el sujeto quien establece su valor); en el objetivismo axiológico (el sujeto reconoce y acepta las cualidades valiosas del objeto); en el idealismo objetivo de Platón (en un mundo ideal, conceptual, esencial, independiente del mundo humano, el valor de las cosas existe por sí mismo y se proyecta en un mundo de objetos físico-sensibles y de seres vivos) y, el valor de carácter social e histórico (el valor se define en la relación sujeto-objeto, la cual cambia en el tiempo y contextos sociales, hay cosas que al perder importancia en esa relación dejan de significar valor para el sujeto, mientras hay cosas que por sus características en esa relación, se mantienen en el tiempo).

En particular, en el análisis de la determinación del valor de las cosas, David Ricardo expone, que hay un valor intrínseco (valor de uso) originado en la capacidad de las cosas para satisfacer las necesidades humanas, lo que le otorga la categoría de bienes, indistintamente cual sea su origen (valor difícil de calcular, porque el nivel o grado de satisfacción en cada individuo cambia) y, por otro lado, define el valor de los bienes obtenidos en procesos productivos y dados al intercambio (valor de cambio). Si bien, los clásicos como David Ricardo, Adam Smith conceptuaron sobre el valor de las mercancías, fijado de acuerdo con la cantidad de trabajo incorporado en su producción o transformación, no lograron en su racionalidad la fijación de este, en lo que sí avanzaron los economistas neoclásicos, quienes dan una dirección al valor de cambio, al establecer que el valor se define en los mercados (oferta y demanda), en lo que juega un papel dominante la escasez y la utilidad. La concep-

ción del valor de cambio es resultado de la dinámica de los mercados, ha conducido a la inequidad, la especulación y acumulación, con la consecuente concentración del capital.

En ese sentido, Karl Marx en 1867 en su obra *El capital*, aunque no tiene el propósito de predecir el precio de las mercancías, sino de comprender las fuerzas principales que regulan su intercambio; permite entender el valor y el origen de la ganancia capitalista. Para él, el valor de uso es la materialidad de las cosas, que constituye el contenido material de la riqueza en cualquier sociedad, reconociendo como fuentes de ese valor, tanto a la naturaleza (tierra) como al trabajo humano.

El trabajo es, en primer término, un proceso entre la naturaleza y el hombre, proceso en que éste realiza, regula y controla mediante su propia acción su intercambio de materias con la naturaleza. En este proceso, el hombre se enfrenta como un poder natural con la materia de la naturaleza (Marx, 2004).

Para él, el valor de las cosas depende únicamente del tiempo dedicado a producirlas, por consiguiente, el valor se realiza en unidades de trabajo –trabajo socialmente necesario–; así, el valor de una mercancía está relacionado con el valor de otra, según la cantidad de trabajo necesario en la producción de una y otra.

Esas consideraciones son excluyentes de la valoración de los BSA y, la naturaleza en sí; puesto que en ellos no se incorpora trabajo para obtener los beneficios, en la mayoría de ellos, el hombre no debe realizar esfuerzo alguno, los encuentra en su contexto en estado libre; en el medio del cual el hombre es parte y con él interactúa permanentemente. Los seres humanos respiran, disfrutan el paisaje, adaptan su vida a los climas y se benefician de la dinámica biótica y abiótica que la naturaleza genera (captación de CO₂, liberación de oxígeno, conservación de suelos, autorregulación de plagas y microclima en zonas forestales, entre otros).

Pensar en valorar la naturaleza y su materialidad, implicaría valorar todos los elementos que la constituyen y contextualizan, incluido el hombre. De ahí, que hablar de la valoración ambiental, implica entender el propósito y origen de su valor relativo, es decir, la naturaleza en relación con la calidad de vida humana y no a su existencia material, lo

cual se define desde la relación hombre-naturaleza, analizada por Marx. Por lo que es relevante entender el origen del valor desde las concepciones de valor sujeto-objeto, porque en ese sentido se puede avanzar en la adopción de métodos que aproximen el valor de la naturaleza, entendiendo que es el sujeto (ser humano) el que en esa relación mide o evalúa si se beneficia o afecta negativamente por las condiciones o cambios del objeto (naturaleza), cambios que el mismo sujeto produce, afectando su calidad de vida y otorgando incertidumbre al futuro, hoy de gran preocupación en la comunidad mundial.

Hasta que el ser humano no entienda que la naturaleza es parte integral de su existencia, y no nos obliguemos con responsabilidad generacional, los intereses particulares se seguirán guiando en la racionalidad económica liberal y en el beneficio material especulativo (acumulación de riqueza monetaria), obtenido con la explotación del hombre y su fuerza de trabajo, y la explotación desmedida de la naturaleza, conllevando que se siga avanzando en las diferentes formas de alteración y de desequilibrio ambiental.

Si se continúa bajo el paradigma de valoración de las cosas por el valor de cambio fijado en los mercados, difícilmente se podrá aproximar el valor de los bienes y servicios que no poseen un mercado para acceder a su consumo o uso, porque su realidad impide que sean transables, al no ser individualizables ni privatizables como captura CO₂, liberación de O₃, protección del suelo y cuencas hídricas entre otros. Por lo que vale la pena revisar algunas de las propuestas de valoración ambiental, que se centran en el quehacer económico y que se han utilizado para definir el valor de escenarios de interés para determinadas naciones, como lo ha expuesto Diego Azqueta, 1994, en su libro *Valoración económica de la calidad ambiental*”.

Costos inducidos o evitados

Este método se basa en la concepción de que aquellos bienes ambientales que carecen de un mercado, están relacionados con bienes que sí tienen mercado de manera concreta, formando parte de una función de producción, identificando dos formas: por un lado, el bien ambiental forma parte del proceso de producción del bien o servicio,

como un insumo más, ejemplo el agua, influye en la productividad de la tierra, relacionándose de manera directa o indirecta con los bienes agrícolas, en consecuencia la pérdida de agua genera una reducción en el valor de los bienes agrícolas, definiendo con esta reducción el valor de la calidad hídrica y disposición. Acá se valora el agua como recurso o insumo particular en la agricultura y no como fuente de múltiples beneficios.

Por otro lado, se asume el bien ambiental como parte de otro bien privado, expresado como función dosis-respuesta. Se refiere al mayor valor de producción, que tiene como consecuencia la reducción de la contaminación, siendo ese valor agregado el que constituye el valor de la calidad ambiental. En este caso, también se puede mediante la obtención de un producto que modifica la calidad ambiental, medir el valor de esta. Por ejemplo, para evitar el ruido se recurre al aislamiento acústico de ventanas, afectando el bienestar humano, porque además de aislar el ruido, se dificulta la ventilación, surgiendo efectos positivos y negativos que dificultan medir el impacto atribuible al costo de aislamiento como valor de la calidad ambiental.

Así, con el costo evitado e inducido se está determinando es el valor en que se incurre por no contaminar, pero la calidad ambiental es independiente de este esfuerzo e interactúa en el bienestar humano. Si bien, con el esfuerzo se aporta a la calidad ambiental, no es posible definir el valor aproximado de esta, pues solo se está mostrando un costo adicional por no contaminar, más no el valor del bienestar en la inseparable relación hombre-naturaleza, que no depende de las erogaciones que eviten la contaminación.

En sí, el costo evitado e inducido se convierte en el valor que le representa a la economía del actor generador del costo, realizar producción sin contaminación, lo que en esencia refleja es la parte del costo que corresponde a una producción responsable y que debe ser parte de la política de gestión de toda organización que en su actividad comprometa o utilice el capital natural.

El método del coste de viaje

Este método se ha aplicado en la valoración de áreas naturales que cumplen una función de recreación, o de escenario turístico y, se basa en obtener mediante encuestas: la tasa de participación de visita a escenarios, recreativos o turísticos por individuos o grupos de personas; teniendo en cuenta la demanda por zonas de origen, número de visitas al lugar, el costo de total de llegar al sitio (transporte, alimentación, alojamiento), característica socio-económica de la población según procedencia y, escenarios alternativos; la demanda de servicios del lugar en función de sus características, teniendo en cuenta el costo de oportunidad por tiempo utilizado en la visita y desplazamiento, de acuerdo con el salario-hora.

El costo de viaje define la importancia económica de escenarios naturales utilizados en la explotación turística (parques naturales) y no el valor integral de los elementos naturales o del ecosistema en sí. Esto significa, que el método de costo de viaje tiene como propósito establecer la importancia de la naturaleza en la actividad turística y recreación, con el fin de conservar los escenarios que atraen la demanda turística.

Método hedónico

Es de aclarar que la valoración o precio hedónico obedece a los atributos del bien en sí; siendo importante reconocer cómo valora la persona el cambio en el bienestar que le reporta un bien cuando lo compra y, a qué atributos le adjudica ese cambio. Ejemplo de ello, en la compra de un terreno busca un lugar seguro, apartado de ruidos, autopistas, de industrias zonas contaminadas, condición urbanística, entre otras, características que hacen que el valor del terreno aumente o disminuya, según el caso.

Las personas adquieren bienes, por la serie de atributos que les satisface mejor alguna necesidad, en consecuencia, los precios hedónicos intentan analizarlos diferentes atributos del bien que definen su precio y, detallar la importancia de cada uno de ellos. Aunque cierta es la importancia que tienen los atributos de los bienes de todo tipo en la definición de la demanda, resulta difícil adjudicar un peso individual o específico para cada atributo y en particular la calidad ambiental, dada la tipología e

importancia de la variedad de atributos (ambientales, económicos, sociales y culturales) presentes especialmente en los bienes inmuebles.

Es indudable que la sociedad está dispuesta a sacrificar parte de su riqueza al ser atraídos por entornos que mejoren su tranquilidad y bienestar, reflejándose en el mayor precio de inmuebles que permiten el disfrute de ciertos atributos entornales, pero también es innegable la influencia que ejercen, en el precio de los inmuebles, los factores que distorsionan su mercado, como gustos y preferencias afectados por la publicidad o expectativas de desarrollo urbano, concentración de ingresos, disposición de infraestructuras y servicios, relación social y seguridad, entre otros, siendo difícil identificar y evaluar dentro de los precios qué parte corresponde a los atributos ambientales.

En efecto, la valoración ambiental soportada en el hedonismo, difícilmente se puede convertir en alternativa para establecer las bases de valoración para el PSA, al impedir la valoración de los beneficios que otorgan los ecosistemas generadores de BSA no transables en los mercados, los cuales los podemos disfrutar cualquiera sea su ubicación en el planeta. Un ejemplo de ello, son los BSA que genera la selva amazónica para toda la humanidad, por lo que sus atributos estarían presentes en todos los inmuebles del mundo.

Método valoración contingente

La contingencia se basa en la eventualidad, trata de definir el valor ambiental por el valor que otorgan las personas a cambios o posibles cambios en su bienestar por modificación en su entorno ambiental, haciendo uso de la pregunta directa, como mecanismo simple para averiguar la percepción de los individuos sobre el valor ambiental. Lo contingente se refiere a que es probable o no que suceda, y se toma como una última opción para valorar cuando no se cuenta con otras alternativas. Aunque no se corresponde con el valor aproximado del capital natural, es el más empleado en Colombia y algunos países por la facilidad de cálculo y, por ser considerado como método directo de valoración que simula la existencia de un mercado para BSA no privatizable o de uso común, en la lógica de un mundo donde prevalece la economía de mercado.

El valor contingente resulta impreciso por la dependencia del contexto social y la percepción que la sociedad tenga del ambiente y los beneficios que le aporta la naturaleza o los efectos de la contaminación. Además se requiere que la población a la que se aplica la encuesta esté dispuesta o en condiciones de suministrar información, y que su situación económica no afecte sus respuestas de valoración, puesto que en una sociedad con elevados índices de pobreza, la encuesta refleja sesgos cuando se trata de establecer la disposición a pagar, si se tiene en cuenta la posibilidad real en poblaciones con elevada pobreza como el caso de América Latina, según la CEPAL, comprende más del 27% de la población y son quienes generalmente habitan en las zonas más contaminadas, con alto desconocimiento de la importancia de la naturaleza en la vida y bienestar dentro del planeta.

En la valoración ambiental así expuesta, se resalta la importancia que le asignan a la naturaleza en relación con los procesos económicos, pues es innegable que toda economía se inicia y termina en la naturaleza, pero el problema no está en definir y valorar la relación económica de los elementos del medio natural, es decir, estos como fuente (capital natural) en la dinámica productiva, que agregan valor a la economía de una nación, sino en la identificación integral de los beneficios que se desprenden de la naturaleza de manera independiente o como ecosistema, contribuyendo con la situación de bienestar humano y calidad de vida, lo cual no se reconoce en el valor de mercado existente o simulado.

En consecuencia resulta importante cuando se habla de valoración ambiental en términos monetarios, especializar la forma como se establece el valor a los propósitos que se persiguen, pues no se trata de valorar por cumplir con compromisos contables o establecer políticas presupuestales de gasto, sino de definir datos que permitan indicar condiciones u orientar políticas hacia la sostenibilidad en el desarrollo.

Costo de oportunidad

Al contemplar método alguno de valoración ambiental, es conveniente razonar en ¿por qué y para que valorar? y, en el propósito de toda nación, su desarrollo sostenible, que implica un bienestar generacional, que debe ser medible de manera integral, en relación con el contexto

–económico, ambiental y social–; lo cual exige herramientas y parámetros homogéneos de evaluación, siendo la moneda el patrón que refleja la dinámica en las economías de orientación liberal o de mercados. De ahí, que se deban argüir valores monetarios a la naturaleza, integrando el valor de los beneficios o efectos, económicos, sociales y ambientales de cada ecosistema o de los bienes naturales de manera independiente y, no solo por precio de mercado.

En particular, para la permanencia de BSA de carácter público hace necesaria la conservación de los ecosistemas que los generan, lo cual implica dejar de explotar el capital natural y los activos biológicos o abióticos que los constituyen, por lo que se incurre en un costo de oportunidad, al no poderlo usufructuar en otra alternativa diferente de la conservación. El concepto de costo de oportunidad fue introducido por Friedrich Von Wieser en 1914, hoy ampliamente reconocido en el campo económica y, que según el portal de los contadores (www.gerencie.com) este corresponde al “costo en que se incurre al tomar una decisión y no otra. Es aquel valor o utilidad que se sacrifica por elegir una alternativa despreciando otra”.

El costo de oportunidad de un ecosistema define el valor global de los bienes o servicios no individualizables, ni privatizables que genera, ya que para disfrutarlos se requiere su conservación, lo que implica no explotarlos. El valor así definido, aunque refleja el valor del sacrificio por conservar la oferta natural de BSA en su conjunto y en orden a las características del ecosistema, impide identificar el valor de la disposición de cada bien o servicio en particular, como CO_2 , O, agua, entre otros–; sin embargo, esta apreciación no significa que carezca de importancia en el tema de valoración ambiental, cuando el propósito de esta, es instrumentar las políticas ambientales.

Quienes aceptan el valor de los BSA a precios de mercado, ven la certificación de CO_2 , como el mecanismo que permite valorar el servicio ambiental de captación de carbono. No obstante, el valor atribuido a la captación de carbono mediante el mercado de certificados de CO_2 merece ser revaluado, ya que es reconocido que en los servicios ambientales, como captura de CO_2 y liberación de oxígeno, entre otros,

no hay demanda privada, los beneficios no son individualizables, pues son servicios de carácter público; por consiguiente, no hay compradores dispuestos a pagar por servicios para su usufructo particular a quienes ostentan el dominio o propiedad de los ecosistemas generadores; lo que se está comprando realmente es el certificado con fines especulativos o legitimadores de sus emisiones y no por el uso o beneficio individual y privado obtenido con la captación, ya que con independencia del pago o compra, los servicios ambientales siguen beneficiando a la humanidad y demás seres vivos.

En sí la compra de certificados de carbono conllevan mantener en estado natural un área boscosa, lo que se paga es la conservación de los ecosistemas, los cuales no solo capturan carbono, sino que generan una serie de servicios difíciles de valorar de manera individual (liberación de oxígeno, equilibrio climático, hábitat de fauna, material vegetal y, protección del suelo, entre otros), por lo que el pago o compensación, es más un acto legitimador de las emisiones de gases efecto invernadero de quienes compran certificados de carbono, pues el valor de cambio o precio del servicio tasado, en realidad no corresponde al servicio específico sino al certificado, aunque se pague solo por captación de CO₂, el ecosistema en su función natural sigue generando multiplicidad de servicios.

En consecuencia, el costo de oportunidad, se convierte en alternativa idónea, al soportarse en las potencialidades del suelo que constituye el ecosistema que suministra BSA, identificando su vocación técnica, a partir de sus características y la racionalidad sobre los beneficios económicos, y estar definido por el ingreso al que renuncian quienes ostentan su propiedad, posesión o dominio, para garantizar la oferta natural de los BSA, bien sea de orden particular o estatal. Al existir la propiedad privada sobre el suelo, se asume igualmente dominio sobre los bienes naturales que sobre estos yacen, aunque riña de alguna manera con el marco regulatorio y restrictivo ambiental en Colombia.

De ahí, que el aseguramiento de la disponibilidad de BSA implique llevar a cabo políticas que jalonen la protección de los ecosistemas ofertantes, teniendo en cuenta que no obstante ser la naturaleza la que los genera, en una economía de orientación liberal en la que predomina la propiedad privada, es el hombre al amparo de la ley quien define la

conservación de ecosistemas, guiado por una racionalidad económica sustentada en la riqueza y la especulación, conllevando al eminente riesgo de la sostenibilidad ambiental.

Los BSA y la valoración ambiental

La complejidad en la generación de los servicios ambientales (SA) hace que su disposición, uso o beneficio no sean individualizables, ni privatizables, dificultando determinar la magnitud de los beneficios que se atribuyen a los ecosistemas que los generan; condición que impide efectuar una valoración individual de la oferta natural de BSA, así como la particularización o goce privado de su uso.

De alguna manera es de relevancia mundial el Protocolo de Kioto, en el cual los certificados de carbono se destacan como un importante paso hacia el PSA, pensado como estrategia para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de la fijación de precios de mercado a las captaciones en analogía al de emisión de CO₂, mediante los certificados de emisión (pago para la conservación certificada de ecosistemas captadores de CO₂), pactándose a su vez, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, por parte de los países de mayor contaminación (excepto EE.UU., que no firmó el Protocolo), y se establecen mecanismos de compensación por reducción de gases de efecto invernadero (CO₂ y otros gases), como incentivos económicos por silvicultura y merma de deforestación.

El PSA como compensación que hacen las empresas emisoras de gases de efecto invernadero para la conservación de ecosistemas de captación de CO₂, podrá tener resultados positivos en la medida en que la base del pago resulte significativa y onerosa, de manera que sea atractivo el uso de alternativas eficaces por costos comparados y desvíe los intereses de la explotación de la naturaleza.

Es de entender que si el propósito del PSA es el aseguramiento de la oferta natural de BSA, es preciso aproximar el valor al sacrificio que es necesario para la conservación de los ecosistemas que la sustenta, a su vez, en la pretensión de consentir el PSA como la compensación por emisiones de gases contaminantes, se deben establecer valores que mi-

dan la realidad del daño causado al contaminar la atmósfera; puesto que quienes están pagando por la certificación de emisión de CO₂, lo que están es legitimando sus emisiones y, haciendo del pago un paliativo de su responsabilidad social, o aliviar de alguna manera el complejo de culpa por sus contaminaciones.

En consecuencia, si se desea alcanzar una equidad en los esfuerzos sociales para la preservación y disfrute de BSA fundamental para el desarrollo humano, se debe plantear un sistema de valoración que a cambio de auxiliar un mercado legitimador de las organizaciones altamente emisoras de gases de efecto invernadero, se asegure la protección de ecosistemas ofertantes de BSA, y estimule su expansión.

La valoración ambiental debe aportar información que soporte la sostenibilidad, en complemento a la contabilidad financiera tradicional, integrando la especificidad ambiental en las organizaciones, así como a las cuentas nacionales de medición del comportamiento económico, y para la contabilidad ambiental, entendida como sistema de información, valoración y registro de las condiciones ambientales (inventarios y BSA) y sus cambios (costos ambientales), para la medición y evaluación del pactado desarrollo sostenible (Mantilla, 2005).

Experiencias de PSA

En el ámbito mundial se destaca el mercado de carbono como mecanismo que pretende ser el PSA, al valor establecido en la “Bolsa del Mercado de Carbono”, la cual surge en complemento de la política de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero - GEI, pactadas en el Protocolo de Kioto. Un ejemplo de PSA es el realizado en 1996, por el Gobierno de Noruega a Costa Rica, con la certificación de 200 mil toneladas métricas de carbono captado por 2 millones de dólares, mediante la preservación de una pequeña superficie de sus bosques naturales remanentes, como “sumideros de carbono” –us\$10⁰⁰ / Tn.– (Luna, 2005). En la comunidad europea el precio osciló entre los 4 y 23 euros, en el período 2008-2012, mereciendo atención la dispersión de precios, con amplio margen por tonelada certificada, demostrando inequidad y poca idoneidad en la tasación de BSA, si lo que se desea es incentivar la conservación.

No es coherente reconocer como PSA al valor de las certificaciones, porque estas corresponden a los intereses de empresas emisoras en contar con certificados de captación de CO₂, y así legitimar sus emisiones de GEI o desde una concepción filantrópica empresarial y, no como valor pertinente con el sacrificio por no explotar el suelo donde yacen ecosistemas que ofertan de manera natural BSA.

En este sentido, se debe entender que un mercado se define en el libre juego de la oferta y la demanda e implica la transacción de bienes o servicios que sean individualizables y privatizables, puesto que las dos fuerzas del mercado se mueven inversamente al precio y, si no hay tasación, la oferta natural seguirá, más aun cuando el pago se efectúa sobre reservas o parques naturales, por lo tanto no es cierta la existencia de este tipo del mercado para SA, por su carácter de libres y públicos (el disfrute del oxígeno disponible en la atmósfera por un individuo o grupo de individuos no compromete el consumo de los demás individuos, así como no es lógico que la captación de CO₂ beneficia solo al comprador del certificado o a quienes este desee); en consecuencia el mercado que corresponde es a certificados y no a captación de CO₂ o BSA, no obstante, promover el sacrificio económico de las sociedades certificadoras.

Independiente del mercado de certificados de carbono surgido con el Protocolo de Kioto, algunos países han estado buscando mecanismos o herramientas para la defensa o protección de ecosistemas ofertantes de BSA y reducción de procesos de deforestación, destacando a Brasil, que observa el PSA, como opción viable para la conservación de la selva en la Amazonia brasilera, para lo cual, como lo expresa el Ministerio del Medio Ambiente de Brasil, están trabajando en una base legal que les permita alcanzar metas sostenibles en la reducción de tasas de deforestación o degradación forestal.

En Colombia, el incentivo forestal para la siembra de especies arbóreas en orden a lo estipulado por la Ley 139 de 1994 se interpreta como PSA, que promueve la expansión forestal con fines comerciales o para la conservación; sin embargo, una cosa es fomentar el desarrollo de escenarios que generen BSA y otra cosa es pagar la conservación de ecosistemas para su disfrute, pues los incentivos para reforestar no garantiza

una cobertura sobre los diferentes BSA, como tampoco un volumen de SA deseados o puede suceder que mientras se está reforestando otros están deforestando, al no frenar esta política los intereses particulares por la ampliación de fronteras agropecuarias y explotación de madera, en detrimento de ecosistemas de marcada importancia ambiental por su aporte a la calidad de vida con el suministro de BSA y biodiversidad.

La valoración por costo de oportunidad una alternativa viable en la conservación de ecosistemas - BSA

Los BSA están asociados a la disposición de ecosistemas y su permanencia está en manos de la actitud humana, influida por la racionalidad económica. En efecto, el interés por la explotación de la naturaleza, estriba en propósitos económicos, lo que ha conducido a la extinción de especies animales y vegetales, poniendo en riesgo la dinámica ambiental del planeta.

La especie humana desde su origen ha dependido del usufructo de los diferentes elementos que la naturaleza le ha brindado para satisfacción de sus necesidades, en lo cual se destaca el uso del suelo, como factor fundamental en las actividades de explotación de los componentes bióticos o de flora y fauna y los abióticos o minerales, ya que en gran parte el menoscavo de los ecosistemas terrestres y, con ello, la disponibilidad de BSA fundamentales en la supervivencia humana, se debe a la progresiva explotación del suelo en la actividad agrícola, pecuaria y minera, por lo que se debe abordar la valoración ambiental desde la perspectiva del suelo, como elemento natural depositario de todos los ecosistemas terrestres.

En ese orden de ideas, el costo de oportunidad del suelo, es un acertado punto de partida para la fijación de políticas de conservación de BSA originados en los ecosistemas terrestres, porque el suelo como capa superficial alberga elementos vivos e inertes que constituyen los ecosistemas estratégicos, importantes para la supervivencia y la actividad económica.

En ese sentido y en el marco de los análisis ambientales, el suelo reconocido de manera errónea como recurso en lugar de ser considerado como activo, capital o bien natural, de carácter renovable en el mediano y largo plazo, en la medida que se restaure, con adición de mezclas de material orgánico, vegetal y mineral, pues es un sistema complejo orgánico-mineral, que puede desarrollar vida y ser parte de los ecosistemas y actividades asociadas. En consecuencia, de acuerdo con las características físico-químicas del suelo y las condiciones naturales, se propicia el desarrollo de flora y fauna, subyace potencial hídrico y elementos no renovables, debiéndose efectuar estudios para definir su uso en armonía con su vocación técnica, como acción que coadyuve en la sustentación del desarrollo y que haga sostenible la dinámica ambiental.

Durante años se ha pensado que la racionalidad económica liberal conduce al uso acertado de los factores de producción, al procurar su optimización. En esa concepción la tierra ha sido objeto de dinámicas comerciales, independientemente de la realidad por su aporte a la sostenibilidad dentro del desarrollo, y sin importar la coherencia entre su uso cultural y su vocación técnica, conllevando su errática explotación con una permanente ampliación de las fronteras agropecuarias y mineras, lo cual pone en peligro la capacidad productiva del suelo y por ende la eliminación de los ecosistemas que en ella se soportan. Esta situación obliga a incentivar a los propietarios de tierras para que de manera voluntaria conserven en sus predios áreas que garanticen la disposición de BSA, por lo que se requiere analizar y apropiar acciones persuasivas para conducir al no aprovechamiento del suelo, en lugar de acudir a la prohibición de su usufructo, ya que la coexistencia de propiedad privada y el interés por un ambiente sano genera conflictos entre el Estado y propietarios de tierras con ecosistemas de importancia ambiental, siendo de alguna manera la compensación a este tipo de propietarios, para que se sientan estimulados a que la conservación es una mejor opción.

En ese orden de ideas la opción es establecer el incentivo con base en el costo de oportunidad para el suelo, pero a partir de la racionalidad respecto al fin y, como se mencionó a la vocación técnica del suelo, puesto que existen diferentes formas para definirlo, como por ejemplo, por valor de hectárea en arrendamiento en la zona o por rendimiento

medio por comparación del área no explotada con las explotadas o por rendimiento medio del valor del suelo en el mercado financiero. De ahí que sea coherente, pertinente y práctico establecer el valor del costo de oportunidad, con adopción de métodos que correspondan a la realidad económica de los que ostenten el dominio del predio, definiendo variables y parámetros que reflejen su vocación natural y técnica en la generación de bienes agropecuarios.

Es de aclarar que la capacidad generadora del suelo depende tanto de aspectos físicos como de componentes orgánicos y químicos, y es de esta capacidad que se aferran los propietarios para su explotación, por cuanto el conflicto del suelo se debe a las tendencias culturales del sector primario. En particular, la calidad de los ecosistemas por su generación de BSA depende del piso térmico; características geomorfológicas, componentes orgánicos, mineralógico, humedad y la estructura física, entre otros. Atendiendo estos factores el sistema de clasificación, normas y principios del servicio de conservación de suelos en Estados Unidos de América, identifica ocho (8) clases de suelo en relación con su capacidad productiva, ya que los factores definen la generación de vegetación (flora), en consecuencia las categorías son definidas por sus niveles de reproducción vegetal, oscilando entre altamente productivos (95% de fertilidad) y los desérticos 5% de fertilidad o capacidad vegetativa).

Costo de oportunidad, suelo agrícola

Como se mencionó, el costo de oportunidad para el suelo es calculable de varias maneras, según la costumbre, por lo que es importante tener en cuenta que el fin de su cálculo es la persuasión para conservar mediante pagos a quien ostenta el dominio del predio, que según Mantilla (2005), en el libro *Medición de la sostenibilidad ambiental*, el valor del suelo lo define su capacidad agropecuaria, en razón a su vocación técnica. La definición de variables y el cálculo del valor de la renta del suelo como expresión de costo de oportunidad se efectúan por unidad de extensión y según la categoría del suelo, teniendo en cuenta que en una zona o predio se puede encontrar todas las categorías de suelo, haciendo para cada tipo el cálculo respectivo. En consecuencia se define la renta del suelo agrícola, teniendo en cuenta:

$$Rsam = \overline{Yam_n} - \overline{RFP}$$

Rsam: Renta del suelo agrícola.

$\overline{Yam_n}$: Ingresos alternativos promedio por hectárea del suelo de categorías m, en el período n, -un año-, con la explotación del bien óptimo.

RFP: Renta media de factores de producción diferentes al suelo.

Donde la renta media del capital de

$$\overline{RFP} = \overline{Rrh} + \overline{Rmi} + \overline{Rm} + \overline{Ret} + \overline{Rga}$$

RFP: Renta media del capital de producción, diferentes del suelo.

Rrh: Renta media del capital humano.

Rmi: Renta media de materiales e insumos

Rm: Renta media de maquinaria

Ret: Renta media de embalaje y transporte

Rga: Renta media gastos de administración

$$\overline{Yam_n} = (\overline{Pa.Ha}) * \overline{PV}$$

Donde:

(Pa.Ha): Producción Alternativa por Hectárea de suelo de categoría “m”, que representa un porcentaje del suelo óptimo.

PV: Precio Promedio de Venta, del Bien Alternativo.

En síntesis:

$$\overline{Yam_n} = (\overline{Pa.Ha}) * \overline{PV} - \{\overline{Rrh} + \overline{Rmi} + \overline{Rm} + \overline{Ret} + \overline{Rga}\}$$

Los ingresos alternativos $-Y_{am_n}-$, es lo que dejaría de percibir quien tenga la propiedad o dominio del terreno que contiene el ecosistema ofertante de servicios ambientales, al no explotar económicamente el ecosistema que los genera. Es de ahí, donde se debe derivar el análisis del PSA, si se pretende estimular la no explotación de la naturaleza.

La valoración de los BSA con base en su conservación tiene sentido, ya que su fin es contar con una herramienta que garantice su disposición de manera sostenible y no avanzar en la mercantilización de lo no individualizable, ni privatizable, sino lograr la protección de los ecosistemas ofertantes, ante la amenaza que impera con persistentes conflictos por uso del suelo, y la dinámica actividad del sector primario.

Si bien, la naturaleza está protegida desde la Constitución Política colombiana, por leyes y normas ambientales que reglamentan el uso del suelo para minimizar los impactos negativos ambientales; el hecho de estar los ecosistemas en su mayoría localizados en suelos de propiedad privada, conlleva su explotación e impide la eficiencia de la norma, se debe incentivar la voluntad de las personas para que administren la conservación de los ecosistemas y así no poner en riesgo el futuro de la humanidad. En consecuencia, si el acervo ambiental está en riesgo por la racionalidad económica e intereses del capital especulativo, la mejor manera de enfrentarlo, es incorporar a la economía costos de protección y conservación, si se quiere avanzar en la sostenibilidad del desarrollo. Es necesario adoptar políticas que logren persuadir a quienes ejerzan el dominio sobre el suelo, sin que riñan los intereses económicos del capital, con la conservación de la naturaleza.

Se destaca que por ser el costo de oportunidad un concepto aplicable a cualquier actividad humana y en particular a diferentes ecosistemas, los métodos de cálculo, pueden ser definidos en cualquier región nacional o mundial, estandarizando así un concepto y una metodología para definir la base de tasación para el PSA. Es claro que los ecosistemas no son idénticos, pero sí generan beneficios similares, cambiando el volumen de generación de acuerdo con las características de los ecosistemas, por consiguiente, las variables que definen el valor son estándares mundiales y, el costo de oportunidad es viable definirlo según la vocación del suelo en cada país y la disposición de cada ecosistema.

Casos prácticos en la determinación del costo de oportunidad

En la búsqueda de los patrones que definen la valoración ambiental de los BSA, se debe tener en cuenta que el propósito de valorar no es simplemente disponer de inventarios ambientales en términos financieros, sino asegurar la sostenibilidad ambiental, la cual se reconoce es por la relación con el desarrollo de cada nación, entendido como el proceso de aseguramiento de la supervivencia humana, en una vida con calidad, dignidad, bienestar social, e identidad cultural; reconociéndose la sostenibilidad ambiental en la relación hombre – naturaleza, siendo coherente y pertinente el costo de oportunidad, en el aseguramiento de los beneficios que la naturaleza aporta a la vida.

El costo de oportunidad es la alternativa viable, en la persuasión de la explotación del suelo donde yacen los ecosistemas; por lo que se utilizó como estrategia de valoración en el análisis de escenarios naturales de disímil tipología. La valoración se llevó a cabo en alianza con investigadores y organizaciones. Tal es el caso del Rasgón, desarrollado como consultoría a la CDMB y proyecto base en la iniciativa del PSA, contemplado en este trabajo de investigación, a su vez en la Ciénega la Caimanera, los BSA son valorados teniendo en cuenta el costo de oportunidad, en un proyecto de maestría con la dirección del autor de este capítulo, así como la valoración por costo de oportunidad para la recuperación y conservación de los BSA existentes por el Humedal el Pantano, mediante consultoría a la CDMB y, estos trabajos son complementados con el análisis del páramo de Santurban.

Escenario predio el Rasgón: –ecosistema estratégico de oferta hídrica para Piedecuesta⁵. Se aplicó valoración contingente y costo de oportunidad, con fines comparativos. El Rasgón es una estación experimental demostrativa, de propiedad de la CDMB; cuenta con una superficie de 1089 has, distribuidas a una altura entre los 2000 y 3400 m.s.n.m; se localiza a 5 kilómetros hacia el norte del corregimiento de Sevilla y en el kilómetro 23 al noreste del municipio de Piedecuesta; pertenece a la

5. Trabajo realizado para la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga -CDMB, en 2008-2009.

parte alta de la subcuenca del río De Oro, haciendo parte de un ecosistema frágil que alberga especies de fauna y flora; presenta un relieve montañoso con pendientes fuertes y, una temperatura media anual de 15,27 °C; propicia para una vegetación diversa y la presencia de una fauna dispersa, propia del bosque alto andino y subpáramo.

Por la complejidad del ecosistema de alta montaña, corresponde a un zona de potencial hídrico, siendo identificado como área de drenaje de 1645 m³ anual de agua, e importante canalizador hídrico en la microcuenca del río De Oro, que beneficia básicamente a los habitantes de la cabecera municipal de Piedecuesta y en el recorrido en su lecho, es ofertante de servicios a la comunidad rural, al hacer más fértiles los suelos adyacentes. A su vez, es generador natural de material vegetal y reproducción en vivero, importante para el mejoramiento de especies y prácticas agroforestales de la región.

Por la disposición de flora propia de bosque alto andino, de piso térmico frío, es un importante regulador hídrico y de significativa oferta de oxígeno y captura de CO₂, con los respectivos beneficios sociales, no solo a la comunidad de la zona de influencia directa, si no al planeta. Los beneficios reportados a los demás recursos naturales que constituyen el ecosistema boscoso, se entienden como función ecosistémica, no tipificados como BSA. Para establecer el volumen de servicios u oferta de oxígeno y captación de carbono, se estima que los bosques capturan en promedio 2,6 Ton de CO₂ por ha/año y, liberan 6,67 Ton de oxígeno por ha/año. Mientras más productivo y saludable sea el bosque más eficaz será la liberación de oxígeno, puesto que la captación de carbono depende del desarrollo de la biomasa, en lo cual influye la diversidad florística, la densidad boscosa, la edad de los individuos forestales, las condiciones geográficas y atmosféricas.

El Rasgón por su ubicación y disposición tanto del ecosistema como áreas de pernoctación, permite que no solo sea un escenario de servicios ambientales en su función sistémica natural, sino un atractivo para el desarrollo del ecoturismo; como servicio ambiental transable, ante una demanda cada vez mayor de agro y ecoturismo, en el ámbito nacional e internacional.

Valoración por costo de oportunidad: Para la valorar por costo de oportunidad los BSA del predio el Rasgón, dada la magnitud del terreno y presencia de áreas con características disímiles, se precisaron 4 zonas.

Tabla 1. *Costos de oportunidad en las diferentes opciones de análisis*

Niveles de Ingresos Esperados por Valoración Contingente Según los Lugareños		Costo de Oportunidad con Explotación de Mora y Cebolla Junca	Costo de Oportunidad con Explotación de Pino y Cebolla Junca	
			No Tecnificado	Tecnificado
Valor Máximo	\$19.600'000.000	\$1.555'799.929		
Valor Promedio	\$ 6.664'000.000	Caida Precio 25%		
Valor Mínimo	\$ 490'000.000	\$ 371'911.849,00	\$ 65'054.852	\$1.002'139.596

Fuente: Elaboración propia.

La valoración por encuesta a lugareños (V_r contingente) define valores con una elevada dispersión oscilando entre 490 y 19.600 millones, mientras por costo de oportunidad, atendiendo explotación de perecederos, arroja un beneficio neto en condiciones óptimas de 1555 millones, lo cual varía de acuerdo con el volumen de oferta, pudiendo caer significativamente, por lo que en un eventual PSA con esta base se debe ajustar año a año con análisis prospectivo del mercado de los bienes agrícolas; si el análisis se realiza con maderables y perecederos como cultivos tecnificados, el costo de oportunidad es más estable. En consecuencia la base se debe calcular (Costo de oportunidad), teniendo en cuenta la vocación regional y las tendencias de los mercados de los bienes objeto de explotación (tabla 1).

*Ecosistema estratégico de humedal (caso humedal El Pantano)*⁶: El humedal El Pantano, declarado Distrito de Manejo Integrado (DMI) de los recursos naturales de Angula Alta, está localizado en la vereda El Pantano del municipio de Girón, departamento de Santander; parte alta de la microcuenca de la quebrada La Angula y parte superior de la cuenca del río Lebrija, a una altitud de 1300 msnm, con temperatura máxima de

6. Realizado en convenio entre la Universidad Santo Tomás, Facultad de Economía y la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, finalizado en 2010, con el concurso de los docentes Carmen Elisa Theran B., aporte técnico de Eduardo Mantilla P. y la estudiante Emelis Fernanda Castro O., como auxiliar de investigación.

23.1 °C y mínima de 19.2 °C, una pendiente de 1% y, ocupa un área de 14,73 has; comprendidas por un espejo de agua con extensión de 5,87 ha y zona fangosa de 8,86 ha⁷ (CDMB).

Funciones y atributos del humedal El Pantano: Es importante oferente de BSA, esenciales para el desarrollo agropecuario de la población del área de influencia y de agua para el consumo humano; es un ecosistema frágil, degradable con los cambios que le produce el hombre a su entorno y sobre sí. Sustenta una apreciable diversidad de plantas y animales; aguas poco profundas, se encuentran plantas que son hábitats de larvas que constituyen el alimento de peces y anfibios.

Dentro de las funciones del humedal se destaca: recarga y descarga de acuíferos, retención de sedimentos, depuración de agua de elementos químicos, retención de nutrientes, soporte de cadenas tróficas y cadena productiva, mantienen la riqueza biológica, atrae el turismo y sirve de fuente abastecedora de Acueductos, convirtiéndose en importante ecosistema por su valor ambiental, siendo uno de los pocos hábitats lenticos de tipo de zona de vida de Bosque Seco Pre-montano, que se localiza en la jurisdicción de la CDMB.

Costo de oportunidad en el humedal El Pantano: el humedal El Pantano ha suministrado aproximadamente en los dos últimos años un promedio mensual de 147.312 m³ de agua a la quebrada La Angula, importante fuente de suministro para la población rural y urbana de Girón y Lebrija.

El cultivo de mayor adaptabilidad de suelos y rentabilidad es el de piña, lo que significa que al dedicar el suelo a la siembra de especies protectoras, se origina un costo de oportunidad de \$2.623.285.194 (205 Ha. área forestal) o \$2.808.023.588 al incluirse el área del humedal, valores que serían base para el PSA.

7. Medición a julio 24 de 2010, período caracterizado como lluvioso. Cálculo elaborada por Oscar Gallo.

*Ecosistema estratégico de manglares (ciénaga La Caimanera)*⁸. La ciénaga La Caimanera está ubicada en el litoral Caribe colombiano, en la parte sureste del Golfo de Morrosquillo, departamento de Sucre, municipio de Coveñas, ocupa un área total aproximada de 2.125 ha y su cuerpo principal de agua tiene una extensión de 180 ha., localizado en el centro de la zona, es surtida con agua dulce de pequeños arroyos como San Antonio (por el oriente), Petalaca y Gavilán (por el sur), logrando en épocas lluviosas mantener dulce el agua de la ciénaga y, en temporada seca aumenta la salinidad.

Según CARSUCRE, se evidencia un componente biótico conformado por bosque de manglar en asociaciones de cuatro especies y, fauna con 41 especies de peces, así como gran variedad de anfibios, reptiles, aves y mamíferos, siendo estos últimos el grupo más afectado, dada la poca extensión del manglar y la alta intervención al mismo. En la ciénaga el bosque de manglar ocupa 1924 ha y el salitral del Garzal se encuentra sobre una superficie de 85 ha. Los bosques aptos para el aprovechamiento ocupan un área aproximada de 1204 ha, equivalente al 63% del total de los bosques (Arsenio, Sánchez, Ulloa y Zamora 2004).

Los BSA ofertados por la Ciénaga La Caimanera: bienes y servicios transables: explotación pesquera; explotación maderera; explotación turística, que son objeto de comercialización en los mercados.

Bienes y servicios no transables: captura de CO₂ y liberación de O₂; retención de sedimentos y nutrientes; protección contra inundaciones y tormentas; protección de la línea costera. Los elementos materiales que libera o captura el ecosistema y que cumplen con una función de beneficio público, pero no son transables en el mercado, al no ser privatizable ni individualizables.

Funciones ecosistémicas: Conservación de biodiversidad; conservación de factores físicos litorales y del agua. Corresponde a la interacción de los servicios entre los elementos que constituyen el ecosistema para ase-

8. Resume elementos básicos del proyecto de maestría del C.P. Adolfo Enrique Carbal Herrera, Sistema de Universidades Estatales del Caribe (SUECaribe), Universidad de Cartagena, con la dirección de Eduardo Mantilla Pinilla. Sustentado y aprobado en 2010.

gurar la dinámica de este como unidad sistémica, siendo la base de los BSA para la sociedad.

Cálculo del valor de los BSA transables: La extracción de madera en La Caimanera se efectúa mediante asociación de los mangleros, que según CARSUCRE, se está aprovechando un promedio de 1101 m³/ha/año de madera sin corteza, con una extensión de bosque susceptible de aprovechamiento de 1204 ha. El precio medio en el mercado local de la madera de manglar es de \$ 328.500,42/m³, para un promedio año de \$395.514.509.29. La explotación pesquera sostenible en la ciénaga, es de 621.88 kg promedio año, con un precio que oscila entre \$2000 y \$14.000 kg, estimándose un total de \$3.553.700. Por otro lado, dada la belleza escénica del ecosistema, es uno de los principales atractivos turísticos de la zona, generando un ingreso anual a operadores de la ciénaga de \$ 93.788.800.

Estimación del valor de los BSA no transables por costo de oportunidad: La conservación del ecosistema implica la renuncia a actividades de explotación económica, que para el caso sería actividad camaronera en una extensión de 900 ha, en sistema de producción semi-intensivo. El tamaño de la finca camaronera se definió con base en las condiciones requeridas para el desarrollo óptimo, para lo cual en un ambiente pristino no se recomienda la construcción sobre manglares por la acidez del suelo, así como la necesidad de conservar una amplia extensión de manglar al servir como suministro de nutrientes en la primera etapa de la cría del camarón, provenientes de sus hojas, como también por su ayuda en la filtración del agua (Modesta, 1998).

En cuanto a la captación de CO₂ con la respectiva liberación de O₂ se tiene una masa boscosa de aproximadamente 1664 ha, de las cuales 155.92 ha, están conformadas por bosque joven con edad inferior a 5 años, estimándose con base en amplia literatura disponible sobre desarrollo de madera, un promedio de crecimiento de biomasa total de 15 ton/año/ha.

El costo de oportunidad se estimó sobre la actividad camaronera, con inversión en infraestructura de \$11.232.000.000. El ciclo se realiza dos veces al año, para unos ingresos esperados a valor presente neto en 5

años, los ingresos netos se estiman en \$16.380.000.000, cifra que corresponde al costo de oportunidad, equivalente a lo que se deja de percibir por conservar el ecosistema, lo que se convierte en base para el PSA, lo cual se invertiría en actividades económicas para las comunidades comprometidas en la conservación de la ciénaga.

Ecosistema estratégico de páramo: El complejo del páramo Santurbán, ecosistema estratégico para los dos Santanderes, que de acuerdo con los estudios de la CDMB y CORPONOR abarca aproximadamente 82.664 ha, ubicado entre los 3000 y 4290 msnm, comprende los municipios de Arboledas, Cucutilla, Mutiscua, Silos y Cáchira, en Norte de Santander y, Tona, Vetas, California, Suratá, Charta y El Playón en Santander.

El complejo de páramo provee de agua a las áreas metropolitanas de Cúcuta y Bucaramanga, con más de 2 millones de habitantes en total, así como a más de 30 municipios de la zona de influencia, contando con un potencial hídrico para proveer de agua a 10 millones de personas, con su complejo lacustre de 57 lagunas en los dos Santanderes, de los cuales 22 se ubican en Santander. Cuenta con clima muy húmedo y ligeramente húmedo, con precipitación media entre los 600 y 2500 mm, dependiendo de épocas de lluvias, siendo la mayor precipitación en la subcuenca del río Cucutilla y, la menor precipitación entre los municipios de Vetas, Berlín y Silos, costado noreste, la temperatura oscilan entre los 6 y 12 °C y comprende las subzonas hidrográficas de río Pamplonita, río Zulia, río Sardinata río Tarra, río Algodonal (Alto Catatumbo), río Lebrija y río Chitagá.

Actividad socioeconómica del complejo Santurbán: de acuerdo con diferentes estudios de la CDMB y CORPONOR, en su vasta extensión se desarrollan varios tipos de actividades, en la agricultura, en la que se destaca la cebolla, papa, trigo, leguminosas y frutales, una significativa dedicación al ganado bovino, con promedio de 2 cabezas por ha, básicamente con propósito lechero y, la ganadería ovina 8 ovejas por ha; además de la ganadería se destaca la explotación artesanal de trucha. A las actividades de origen agropecuario se suma la minería, comprendida por el distrito minero Vetas-California potencial en la explotación de oro y plata, dentro de un área aproximada de 50 km², así como mármol explotado

de manera artesanal en Mutiscua y, a lo largo de la región de páramo, otros minerales no metálicos, como carbón, calizas, feldespato, material pétreo y ornamental, arcillas, barita y fosfatos.

El costo de oportunidad en la estimación del valor de los BSA: dada la vasta extensión y complejidad del páramo, es pertinente la valoración de sus BSA con la sectorización según la vocación económica predominante como base de cálculo del costo de oportunidad; sin embargo, las características hídricas del complejo Santurbán deben orientar otras opciones que lo definan con mayor pertinencia. Si bien, en la zona distrito minero Vetas-California, el potencial de oro y plata, han conllevado que la actividad económica dominante sea la minería, compartida con actividades agropecuarias a pequeña escala, es relevante la capacidad de captación y suministro de agua a los dos Santanderes.

En la concepción que se ha aceptado del costo de oportunidad, pareciera que este lo debe definir el potencial minero; sin embargo, los minerales son recursos no renovables y finitos en el corto, mediano o largo plazo, por lo que este depende de la intensidad de la explotación y, en esa eventualidad es inevitable el riesgo de la pérdida de los BSA más importantes del frágil y complejo ecosistema, afectando de manera permanente a la sociedad que de ellos dependemos. De hecho, en California y Vetas se cuenta con un complejo de 22 lagunas, siendo una zona de bajos índices de precipitación, lo que indica una dinámica de condensación hídrica gracias al relevante papel de la flora en la captación de agua de la atmósfera, además servir como colchón de retención de las microgotas suspendidas en esta.

En este sentido, si se tiene en cuenta lo estimado por la CDMB y CORPONORTE, Santurbán tiene un potencial de agua para consumo de cerca de 10 millones de personas, por lo que se puede esperar un volumen de 45.000.000 m³/mes, con base en un estimado de consumo medio en las áreas metropolitanas de Cúcuta y Bucaramanga de 150 litros día/persona; potencial que se perdería con el deterioro del ecosistema por acciones de minería o actividades agropecuarias inapropiadas. En consecuencia, la eventual pérdida de agua implica buscar alternativas para el suministro, que no dependan de caudales hídricos que se alimenten de Santurbán; por lo que una alternativa de valora-

ción viable se debe centrar en la reposición del potencial hídrico en el corto, mediano y largo plazo, que en términos de valor presente servirá de base para determinar el costo social y con ello fijar cualquier política conservacionista.

En las alternativas de reposición hídrica está la desalinización del agua del mar y así sustituir la cada vez más reducida disposición de agua dulce para consumo humano y actividades económicas; sin embargo, tiene pros y contras, no obstante ser volumen de agua significativo y las dinámicas en la generación de tecnologías han conllevado reducción de los costos de desalinización por m³, los diferentes métodos utilizables en la separación salina (destilación o congelación o por membranas u ósmosis inversa), se soportan en una alta dependencia del consumo de energía, lo cual no solo es factor determinante de los costos del proceso, sino de gran contaminación y, más aún, si se trabaja con combustibles fósiles, a su vez los procesos de separación dejan una alta generación de residuos. Expertos consultados por la FAO en el 2005 estimaron que para la segunda década del presente siglo, el costo podría variar por m³ entre los 0,5 y 1.5 dólares americanos, como realmente ocurre, dependiendo del volumen de agua, el nivel de salinidad y la tecnología utilizada, siendo de menor costo para agua salobre y uso de tecnología de membranas. En el informe de expertos, se estima que la salmuera eliminada y demás residuos, orgánicos químicos, sólidos y, aditivos químicos usados, entre otros, generan impactos negativos en el ambiente, de acuerdo con la disposición final que se les dé; a su vez se alterará el paisaje de la zona costera, se generarán emisiones de gases con el consumo de energía.

En consecuencia, si se quiere establecer el valor para el mayor de los BSA del ecosistema de páramo, el agua, se debe contemplar el precio en el que se tendrá que incurrir para la recuperación del preciado líquido para las zonas de beneficio, esto es desalinización, manejo de residuos, potabilización y transporte a las zonas de uso o consumo, despojadas del preciado líquido. De acuerdo con el libro *Medición de la sostenibilidad ambiental* (Mantilla, Verjel y López, 2005, p. 70) exponen como metodología de valoración de agua por reducción y pérdida, ajustada en este aparte.

Pérdida de volumen de agua:

$$Va = (Q_{mi} - Q_{mf}) * P_m$$

Va: Valor disminución del agua

Q_{mi}: Volumen de agua período inicial

Q_{mf}: Volumen de agua período final

P_m: Valor de extracción o desalinización de agua (mejor alternativa) por unidad m³
 Por analogía se puede establecer que si el costo por m³ de agua reducida es (X), el valor del agua en existencia es equivalente. Es decir, el parámetro de valoración de la disminución del volumen se utiliza para determinar el valor de existencia del agua.

En consecuencia:

$$Vra = (Q_m^3 * P_m^3) + Ct$$

Vra: Valor del recurso agua.

Q_m³: Volumen total del recurso agua m³.

P_m: Costo comparativo o precio promedio del tratamiento por m³.

Ct: Costo total por transporte de agua al sitio de reposición.

No obstante, el costo de oportunidad refleja el sacrificio en la conservación de ecosistemas ofertantes de BSA, en el caso específico del agua como bien natural se debe utilizar la valoración en relación directa, pero no a precio de mercado, sino por costo total de reposición (desalinización o extracción de aguas subterráneas) para lograr una disposición equivalente a la pérdida delpreciado líquido, lo cual representaría el valor para el PSA, pagable por los usuarios del bien, empresas, población ciudadana y comunidad agropecuaria en proporción al volumen, bajo concepciones de equidad social.

Se deben constituir fondos para la conservación de los escenarios reconocidos por su generación de agua por condensación de la niebla de la alta montaña, caso evidenciable en los páramos.

En síntesis, para el ecosistema de páramo, el PSA no debe corresponder a la actividad minera, porque esta atenta contra la sostenibilidad del desarrollo, y ante la débil actividad agropecuaria es necesario contar con la constitución de zonas de protección o reserva, especialmente en áreas de alta fragilidad ambiental, así como disponer de zonas con posibilidad económica, que no atenten contra el suministro de agua. El PSA se establecería en complemento de ciertas actividades que sean de mínimo impacto en el ecosistema, asumido como subsidio, y equivalente a la labor conservacionista de los lugareños, fijado en proporción del costo alternativo por pérdida del preciado líquido por área, de acuerdo con estudios técnicos de la autoridad competente, y aceptación por parte del Ministerio del Medio Ambiente para hacer competitiva y compatible la actividad del lugareño con la economía y en su manejo sostenible.

Referente para el PSA

En la tasación del PSA se debe partir de un valor establecido por método distinto al fijado por precio de mercado, al ser evidente que los BSA de beneficio natural no son ni deben ser transables en los mercados particulares, por no concernir a beneficios individualizables ni privatizables. Es esencial reconocer que el fin del PSA es garantizar los BSA fundamentales para la supervivencia humana y su calidad de vida, en lo cual los costos de oportunidad son una alternativa viable, por ser un instrumento que desvía los intereses de explotación privada, en una sociedad en que la propiedad privada y los derechos adquiridos son ejes dinamizadores de la actividad económica.

Si bien, los BSA generados por un ecosistema boscoso pueden diferir de los de otro, la valoración por costo de oportunidad conduce a que en ambos el valor determinado resulte equivalente, por lo que el PSA debe ser ajustado con base en indicadores de biodiversidad y densidad forestal, soportado en estudios técnicos de las autoridades competentes (MAVDT, las CAR, Universidades, organizaciones de investigación ambiental y observatorios ambientales) figura 1.

Figura 1. Esquema del PSA



Fuente: Instrumentación jurídica y normativa fiscal, para el pago por servicios ambientales, hacia la sostenibilidad ambiental.

El valor del PSA queda definido por el costo de oportunidad en proporción a las características técnicas del ecosistema (biodiversidad, densidad por biomasa, fragilidad e importancia estratégica).

$$PSA = CO * IP$$

$$IP = (IB * ID) * IS$$

CO: Costo de Oportunidad

IP: Índice de Pago

IB: Índice de Biodiversidad

ID: Índice de Densidad

IS: Indicador de Sostenibilidad

Los diferentes índices resultan del análisis técnico de organizaciones de carácter oficial o privado, idóneas y reconocidas por el Gobierno Nacional para el fin (universidades e instituciones de investigación ambiental, con centros y grupos de investigación reconocidos en el tema).

El índice de biodiversidad será el resultante del análisis técnico sobre la dinámica ecosistémica, de acuerdo con el grado de antropización y

recuperación, medido en escala de 0 a 1, donde 1 corresponde al ecosistema totalmente en conservación y la biodiversidad está en orden a su dinámica, y a cero se aproximan los ecosistemas que han sido intervenidos y están en alto riesgo, pasando a ser solo suelos en reposo y de baja vegetación.

El índice de densidad corresponde a la relación del volumen de biomasa en existencia, sobre el volumen máximo de biomasa establecido para un ecosistema en la región, según estudios técnicos avalados por la autoridad competente.

El índice de sostenibilidad es establecido por la autoridad ambiental de la región - CAR, con base en las necesidades de conservación de cuencas, microcuencas y ecosistemas estratégicos, de alta fragilidad e importantes en el suministro de BSA.

Conclusiones

Llevar a cabo una política de sostenibilidad ambiental, mediante el PSA, como un instrumento que asegure la conservación de los ecosistemas ofertantes de BSA, es viable y necesario, para lo que se requiere la voluntad política del Gobierno, y que la sociedad civil, en uso de los derechos constitucionales propios de un Estado de derecho, promueva políticas públicas, para garantizar el goce de un ambiente sano y corregir el manejo de políticas ambientales por expropiación de tierras para la conservación de escenarios naturales, generando problemas socioeconómicos para solucionar un problema ambiental. Ya que ha sido recurrente, la declaración de zonas de reserva y compra por avalúo catastral de los predios, lo que desplaza a los campesinos a centros urbanos, cambiando riqueza por marginalidad urbana.

Ahora bien, aunque pareciera que el PSA implica un nuevo impuesto, lo que se requiere es que el Fondo para el Pago por Servicios Ambientales se establezca con una mejor redistribución de las tasas ambientales ya existentes, apropiando métodos de valoración que aproxime el valor ambiental para estas tasas, en buen uso de instrumentos de política ambiental. Además, el PSA implica el despoje de toda acción corruptible en

pro del beneficio social, que se obtiene con la sostenibilidad ambiental, llevando una mejor estabilidad a los campesinos, quienes no solo son responsables de sustentar la alimentación de las poblaciones, sino garantizar la permanencia de BSA, también fundamental para nuestra vida.

El PSA implica contar con una base legal de orden nacional mediante la cual se reglamenta como instrumento de conservación de ecosistemas y disposición de BSA, como estrategia de PSA en todo Colombia, y se reglamente en apoyo al uso de herramientas técnicas y equipos humanos responsables que definan las áreas, objetos de pago y determinen los indicadores, teniendo en cuenta que el valor del PSA queda definido por el costo de oportunidad en proporción a las características técnicas del ecosistema, así: $PSA = CO * IP$; donde el $IP = (IB * ID) * IS$, definidos los factores de cálculo como: CO: Costo de oportunidad; IP: Índice de pago; IB: Índice de biodiversidad; ID: Índice de densidad; IS: Índice de sostenibilidad.

Referencias

- Abeliuk, R. (1993). *Las obligaciones* (t I). Santiago: Ed. Jurídica.
- Arsenio, H., Sánchez, H., Ulloa, G., y Zamora, A. (2004). Plan de Manejo Integral de los Manglares de la Zona de Uso Sostenible de la Ciénaga De la Caimanera, Sucre – Colombia. Proyecto Pd 60/01 Rev. 1 (F) “Manejo Sostenible y Restauración de los Manglares por Comunidades Locales del Caribe de Colombia” MAVDT – CONIF – OIMT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal – Conif. Corporación Autónoma Regional de Sucre – Carsucre. 165 p.
- ASOCARS. (2002). El Conversatorio. Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Año 1 N° 1. Bogotá. Casa Editorial El Tiempo.
- Azqueta, D. (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental*. McGraw-Hill.
- Balvanera, P., y Cotler, H. (2007, julio-diciembre). Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, número especial, 84-85. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- Camacho, A., y Solano, V. (2010). Un nodo de cooperación sobre: los servicios ambientales en Costa Rica. San José, C.R.: IICA.

- GRAIN. (2005). *Hacia la privatización total del planeta*. Recuperado de http://www.Redtercermundo.org.uy/texto_completo.php?id=2854
- Instituto Amazónico De Investigaciones Científicas - SINCHI (2005). *Los Servicios Ambientales*. Boletín. San José del Guaviare.
- Luna, A. (2005). Los bosques tropicales ayudan a moderar el clima global. *Revista Forestal Venezolana*, 97-100.
- Mantilla, E. (2006). La contabilidad ambiental en el desarrollo sostenible. *Revista Internacional Legis de Contabilidad & Auditoría*, No. 25, 133-160.
- Mantilla, E. (2008). *Valoración de bienes y servicios ambientales. Escenario piloto El Rasgón*. CDMB. Bucaramanga, Colombia.
- Mantilla, E., Verjel, C., & López, J.V. (2005). Medición de la sostenibilidad ambiental (p. 16). Bogotá: Ed. Educc.
- Marx, K. (2004). *El capital*, (t. I). Argentina: El Cid Editor. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/bibliotecaustasp/Doc?id=10054375&ppg=375>
- Max-Neef, A.M. (2010). Desarrollo a escala humana. Una opción para el futuro. *Developen Dialogue*. Número Especial, 19-93.
- Modesta, A. (1998). Los cultivos de camarones en la costa Caribe colombiana. Documento de trabajo sobre economía regional. Centro de investigaciones del Caribe colombiano. Banco de la república No. 2; 3-52.
- Moreno, M.L., (2005, septiembre). *Informe: Pago por Servicios Ambientales, la experiencia de Costa Rica*. Instituto Nacional de Biodiversidad INBIO.
- Naciones Unidas, *El medio ambiente*. Biblioteca DagHammarsskjöld de las Naciones Unidas. Recuperado de <http://www.un.org/Depts/dhl/spanish/resguids/specenvsp.htm>
- PNUD. (s.f.). *Developen Dialogue*. N° Especial, 19-93. Informe Mundial Sobre Desarrollo Humano 2007-2008. Recuperado de <http://www.pnud.org.co/sitio.shtml>.
- Ribeiro, S. (s.f.). *La trampa de los servicios ambientales*. Recuperado de <http://www.wagua.org.mx/content/view/2073/162/>
- Wunder, S. (2006). Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales. *Occasional paper*, No 42(s). Centro Internacional de Investigación Forestal CIFOR. Indonesia: <http://www.ambiente.edu.ar/maasp/paginas/CapacitacionDetalle.asp?capacitacionID=64>.

Valoración ambiental hacia la conservación y recuperación del humedal El Pantano¹

Carmen Elisa Therán Barajas

*Grupo de investigación Economía Social y Desarrollo Empresarial.
Facultad de Economía, Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.*

Correo electrónico: ctheran.59@gmail.com

Eduardo Mantilla Pinilla

Grupo de investigación INDERCON de la Facultad de Contaduría Pública.

Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.

Correo electrónico: Eduardo.mantilla@ustabuca.edu.co

Emelis Fernanda Castro Orellana

Facultad de Contaduría Pública

Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga.

Introducción

La preocupante situación ambiental en el ámbito mundial, obliga asumir posturas desde los diferentes roles humanos, para frenar la vertiginosa degradación de la naturaleza y el ambiente. Si es cierto que toda

-
1. El artículo presenta resultados de la investigación “Valoración económica de los bienes y servicios ambientales que oferta el ecosistema estratégico humedal El Pantano”, desarrollada por el grupo de investigación Economía Social y Desarrollo Empresarial de la Facultad de Economía y el grupo de investigación INDERCON de la Facultad de Contaduría Pública de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga. Fue ponencia internacional en la VIII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Habana, Cuba.

actividad humana contamina, lo es en mayor grado las realizadas en la explotación directa de los bienes materiales de origen natural. De hecho, el permanente desarrollo del sector agropecuario, en el aseguramiento de la base alimentaria de la humanidad y abastecimiento de la creciente industria y del mismo sector, exige cada vez más terrenos, lo que obliga a la ampliación de las fronteras de explotación, poniendo en riesgo la disposición de los bienes y servicios fundamentales para la vida humana (agua y oxígeno, entre otros), por lo tanto, los procesos se deben basar en el uso óptimo de los bienes de la naturaleza, sin que se comprometa la sostenibilidad ambiental.

La pérdida frecuente de ecosistemas comprometen la disposición de esos bienes y servicios que aseguran la vida, conllevando que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) centre atención en ellos, definiendo los Bienes y Servicios Ambientales - BSA como el producto de las funciones de los ecosistemas o lo que obtienen las personas para su beneficio, y plantea el Pago por Servicios Ambientales - PSA como estrategia de conservación.

La concepción de BSA abarca un sinnúmero de elementos, por lo que en el tema de valoración ambiental se deben considerar solo aquellos bienes tangibles e intangibles, no transables y no privatizables, trascendentales en la vida; y poseer un carácter de públicos o de beneficio colectivo.

En la promoción del PSA se ha estado avanzando en la necesidad de valorar los BSA, planteando diversas alternativas para lo cual es indispensable razonar en el fin del valorar y no valorar por cumplir con la formalidad de la valoración ambiental. Por lo que en particular y, con ese fin, teniendo en cuenta la complejidad de los problemas que enfrenta la comunidad que se abastece de agua del humedal El Pantano, se trabajó en la instrumentación de la política proteccionista de Estado (PSA) de importancia regional como ecosistema estratégico, ofertante de recurso hídrico para población rural de los municipios de Girón y Lebrija, Santander, y del casco urbano de Lebrija.

En la investigación se plantea el coste de oportunidad como una alternativa de valoración capaz de ser persuasiva en la explotación agropecuaria, al encontrar que el deterioro del ecosistema obedece a la ac-

tividad agrícola en el área del entorno del espejo de agua y sumideros en la parte superior, para lo cual se identifica la relevancia de los BSA, a partir de la caracterización del entorno por observación directa y encuestas a habitantes de la zona de influencia.

Definir el PSA con el empleo del coste de oportunidad resulta significativo, por cuanto este expresa el sacrificio económico para la conservación del ecosistema, al tener en cuenta la dinámica económica en la zona que influye en la afectación, para lo cual se tuvo en cuenta el costo de producción de uno de los principales cultivos de la zona, así como el costo de reforestación.

La investigación facilitó el reconocimiento de la cultura de los lugareños, esencial para reorientar la actividad agropecuaria en verdaderas vocaciones del suelo de la región, con sentido proteccionista, como premisa del desarrollo rural sostenible. La responsabilidad última para la conservación de un ecosistema recae en quienes posean la propiedad, posesión o dominio, o de las personas que habitan en él, por ser quienes deciden el uso, cayendo en desatinos, dada la condición económica y cultural, que impide que se encarguen de conservar el potencial natural; por ende el PSA aparece como el remedio para no seguir degradando la naturaleza. El pago debe corresponder al valor que desvíe el interés de explotar la naturaleza para conservarla, y ahí toma sentido, pagar lo que se deja de recibir al no explotar el ecosistema, es decir, por no usar la tierra en actividades agropecuarias, ingreso que no es más que el costo de oportunidad.

Condiciones que definen la valoración ambiental para la conservación del ecosistema estratégico humedal El Pantano

Políticas para humedales

En 1971 en la ciudad iraní de Ramsar se celebró un acuerdo internacional sobre humedales “Convención de Ramsar”, encaminado a garantizar la conservación y uso racional de estos ecosistemas. La convención acuerda que la alteración de los humedales debe cesar, que la diversidad de los que permanecen, se debe conservar y cuando sea posible se deben restaurar o recuperar (Argueta, 2005).

En el ámbito nacional, desde 1974, con la firma del Decreto 2811 “Código Nacional de los Recursos Renovables y de la Protección del Medio Ambiente” se ha hecho referencia a la importancia de la conservación y protección de humedales (art. 310), así como los criterios de calidad para la destinación hídrica, y en el Decreto 1594 de 1984, en el artículo 45 la destinación y uso para la preservación de flora y fauna. Pero es a finales de la década de los 80 e inicio de los 90 que se empieza a gestar la conservación de los humedales; mediante la Ley 99 de 1993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente y, se reorganiza el sistema nacional encargado de la gestión ambiental, anexando a la estructura interna la dependencia encargada del tema de humedales (Báez & Mendoza, 2005).

El Ministerio gestionó la adhesión del país a la convención Ramsar, al lograr la emisión de la Ley 357 del 21 de 1997, produciéndose la aceptación protocolaria en 1998, que entró en vigor el mismo año. Con el fin de aprovechar, recuperar y conservar los ecosistemas, como los humedales, sosteniblemente en el país, se formula la política “Humedales Interiores de Colombia” en el 2001, la cual sirve de base para la gestión nacional, regional, local en la consecución de cooperación internacional.

Georreferenciación y características del humedal El Pantano

El humedal está localizado a una altitud de 1300 msnm con una área de encierro de 22.89 ha; pertenece a la micro-cuenca de la quebrada la Angula Alta, en el municipio de Girón, ubicándose al noroeste en el departamento de Santander. Como ecosistema se encuentra constituido por una red de pequeñas quebradas permanentes y corrientes intermitentes que caen a un cuerpo de agua abierto denominado pantano, donde se depositan los excesos de agua en los períodos de lluvia y un caño interconectado con la red hídrica central de la microcuenca la Angula Alta. El humedal está ubicado en la vereda El Pantano, este humedal tiene un área de espejo de agua de 15.53 ha (tabla 1).

Tabla 1. Cuadro de áreas del humedal

DESCRIPCIÓN	ÁREA M2
Zona seca	52.187
Humedal	58.675
Zona Boscosa	29.402
Laguna (lámina de agua	88.649
Área Total	228.913

Fuente: Oscar Gallo Díaz. Plano topográfico junio 2010.

El humedal es reservorio natural empotrado en la región Andina, cuyo caudal regula y alimenta a la quebrada La Angula, la cual suministra el agua para los pobladores rurales de esa zona del municipio de Girón y para los pobladores de la cabecera municipal de Lebrija. Sus elementos naturales se encuentran asociados a una compleja actividad ecológica y económica.

El terreno que comprende el humedal El Pantano fue adquirido por la alcaldía del municipio de Girón y entregado en administración a la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, sin embargo, el área excluye terrenos aledaños que por su condición y dinámica de explotación afecta la capacidad ofertante de BSA del ecosistema, generando conflicto entre la cultura económica de la zona, con la necesidad de conservación ambiental. Este fue declarado Distrito de Manejo Integrado (DMI) de los recursos naturales, se encuentra localizado en la microcuenca de la Quebrada La Angula la parte alta, formando parte de la cuenca superior del río Lebrija, en el noroeste del departamento de Santander, vereda El Pantano, la cual tiene una extensión de 4945 ha, y el humedal ocupa aproximadamente 14,51 ha², de las cuales el espejo de agua posee una extensión de 5,87 ha y la zona fangosa 8,86 ha en temporada de lluvias de 2010 (figura 1).

2. Medición a julio 24 de 2010, período lluvioso. Cálculo elaborado por Oscar Gallo.

Figura 1. *Espejo de agua humedal El Pantano*



Fuente: Elaboración propia..

Los estudios sobre el humedal en los últimos cinco años, reflejan una reducción paulatina del volumen de agua, que permiten prever la eminente reducción en el corto y mediano plazo del humedal, con el riesgo de desaparecer. Hace 5 años contaba con una extensión de 15,53 ha, lo que expresa una merma de 1,02 ha.

En el documento de formulación del plan de manejo ambiental para el humedal El Pantano, los habitantes del entorno manifiestan que 20 años atrás, el humedal presentaba una extensión cercana a 20 ha, señalando que la reducción obedece a las actividades en la zona, como quemas de los depósitos de basuras y las tierras para un nuevo cultivo, los químicos con que llevan a cabo los cultivos, los cuales por escorrentía terminan llegando al humedal, acabando con la biodiversidad y la vida de este, adicional a la explotación incontrolada que hacen tanto del agua subterránea como del agua superficial del humedal.

El humedal es el mayor aportante hídrico de la quebrada La Angula, la cual surte de agua para consumo humano a pobladores rurales de la

zona de influencia del municipio de Girón y Lebrija, y para los pobladores de la cabecera municipal de Lebrija, constituyéndose en un ecosistema estratégico de interés para los dos municipios. Por lo que resulta preocupante que en los últimos años el deterioro paulatino del humedal, resultado de las actividades económicas de explotación sin control, generen conflictos que ponen en riesgo el suministro de agua para cerca de 20.000 habitantes, y el riego y consumo en las actividades agropecuarias (piña, avicultura, y hortalizas como tomate, habichuela, pimentón y pepino, entre otros), de la zona rural de los municipios de Lebrija y Girón, al dominar el interés económico que conlleva la deforestación de las tierras por parte de los habitantes o dueños de estas para darle uso cultivando de manera artesanal, sin tener en cuenta el daño que hacen al ecosistema, y en el mediano y largo plazo afectándose ellos mismos.

La actividad económica de la zona tiene amplias extensiones desprovistas de árboles, por lo que el suelo queda expuesto a la erosión por vientos y lluvias arrastrando material en la escorrentía, sedimentando el depósito del humedal. Esta condición se hace más crítica, porque en la zona no hay un manejo integral de basuras y residuos sólidos, por lo que estos son depositados en muchos casos en el mismo humedal, o son quemados, lo que afecta no solo al humedal, sino a todo el ambiente de la zona, incluyendo la atmósfera.

Análisis de parámetros físico-químicos del humedal

De acuerdo con la CDMB en el estudio de caracterización del humedal en el 2005 (estudio disponible); por ser este un ecosistema con una vida animal y vegetal, especialmente adaptada a condiciones físicas particulares, no es pertinente evaluar su calidad utilizando los mismos parámetros de calidad de agua definidos para fuentes corrientes o ambientes de lagos y lagunas.

- Oxígeno disuelto: para agua cálida dulce, el valor máximo estipulado es de 4.0 mg O₂/L, en comparación con los datos obtenidos: 4.0 mg O₂/L, 3.8 mg O₂/L, 4.5 mg O₂/L, 3.9 mg O₂/L, 4.0 mg O₂/L, se observó que los mayores valores se presentan al costado occidental del humedal, en los puntos de muestreo 1 y 3, presentándose entre estos un valor por encima del límite permisi-

ble, determinado en dicho decreto. El rango comprendido de 3 a 5 mg/L (Romero, 2001) se considera el límite crítico para los peces, lo que se presume puede repercutir a futuro en la población íctica (peces), lo que ya es evidente en lo observado de manera directa en junio de 2010, cuando se detectó escasa presencia de garzas blancas y patos, además de peces en el humedal, que según los habitantes de la región, 7 años atrás se pescaba trucha y la cantidad de aves era relativamente abundante comparada con la que hoy se observa.

La mayoría de los valores de oxígeno disuelto fueron relativamente altos, por tratarse este cuerpo de agua de un sistema léntico.

- **PH:** Para agua cálida dulce, el valor máximo se encuentra entre 4,5 y 9, los valores registrados se encuentran cumpliendo este rango, tendiendo a presentar condiciones ácidas (5,9 – 6,1). (Acuerdo No 278 de 1984, “Estatuto Sanitario”, Clasificación de las aguas en el área de jurisdicción de la CDMB, según las características de calidad, se tomaron como patrón de comparación, los nitratos, nitritos, DBO5 y coliformes fecales).
- **Nitratos:** El valor máximo de deterioro en cuanto a nitratos es de 10 mg N / L, todos los valores obtenidos están por debajo de este límite permisible; se observó que los valores más elevados se encuentran al costado occidental, aumentando gradualmente de un punto a otro, del norte al sur del humedal.

Al existir al costado occidental cultivos que necesitan el uso indispensable de fertilizantes, en su mayoría compuestos por nitrógeno y presumiendo que este va a parar por escorrentía al humedal, se asume la gran capacidad de oxidación que presenta este cuerpo de agua, debido al valor registrado en los resultados, el cual evidencia el proceso que se sigue en la oxidación de las formas de amoniaco y ión amonio, para reducirla a las formas asimilables para las plantas (nitratos). El aumento de la concentración del nitrato sobre la del fósforo total (en los 5 datos

obtenidos) supone la actuación de este último como nutriente limitante, el cual no permite el incremento del crecimiento de las plantas o algas, impidiendo así, el proceso de eutrofización.

- **Nitritos:** El valor máximo de deterioro en cuanto a nitritos es de 1.0 mg N / L, los resultados reportados son demasiados bajos y cumplen con los límites permisibles. Lo anterior se da por los valores de nitratos, los cuales impiden la detección de los nitritos.
- **DBO5:** El valor máximo recomendado por la norma es de 4.0 mg / L, los resultados fueron bajos, cumpliendo de esta forma con los requerimientos mínimos de calidad, de acuerdo con estos datos se demuestra la capacidad de autopurificación que tiene el humedal.
- **Coliformes Fecales:** El valor máximo, según el acuerdo anteriormente mencionado, se encuentra en 100 NMP/100ml, por lo que ninguno de los resultados cumple con lo estipulado en dicho Estatuto, estos valores van aumentando de manera gradual, encontrando los más elevados, al costado occidental en comparación con el costado oriental, y registrándose el valor más alto en la parte sur o salida del humedal, lo que presume estaría influida por algún vertimiento indirecto de aguas residuales domésticas. Además, se confirma la poca capacidad que tiene el humedal, para remover coliformes fecales, los cuales se consideran como organismos indicadores de contaminación orgánica y de la existencia de organismos productores de enfermedades, lo cual indica que el ecosistema es incapaz de recuperar de manera natural, por el exceso de carga y ruptura del equilibrio en la dinámica ecosistémica.

En la tabla 2 se exponen los valores máximos de los parámetros que definen la calidad del agua de acuerdo con la normatividad nacional, teniendo en cuenta 5 puntos de análisis.

Tabla 2. Valores máximos de calidad del agua

Norma	Parámetro	Resultado obtenido					Valor
		P. 1	P. 2	P. 3	P. 4	P. 5	máximo
Decreto 1594/84	O.D. (mg O ₂ / l)	4,0	3,8	4,5	3,9	4,0	4.0 mg O ₂ /L
	Ph	5,91	6,02	6,06	5,94	5,94	4.5 y 9
	Nitratos (mg N/l)	0,013	0,006	0,048	0,039	0,02	10 mg N/L
Acuerdo No 278 de 1984, “Estatuto Sanitario”	Nitritos (mg N / l)	0,013	0,006	0,048	0,039	0,02	1.0 mg N/L
	DBO5 (mg / l)	<1,3	1,8	1,4	<1,3	1,4	4.0 mg L
	Coliformes fecales (NMP / 100 ml)	2300	2700	7900	4900	13000	100 NM-P/100ml

Fuente: CDMB, 2005.

Los valores de sedimentos confirman su capacidad de retención dentro de este cuerpo de agua, lo que se corrobora mediante la medición de la profundidad, la cual arrojó elevados porcentajes de lodos, en comparación a la lámina de agua. Esto tiene justificación, debido a que en aguas cálidas, para este caso las del humedal, la tasa de sedimentación de sólidos es mayor que en aguas frías, por el cambio de viscosidad del agua, el cual indica que a mayor temperatura menor viscosidad, ayudando a que este proceso se acelere.

Teniendo en cuenta que los resultados de conductividad fueron uniformes, se presume la inexistencia de metales en la lámina de agua. En cuanto a las pruebas de laboratorio, en los cinco puntos muestreados, indican una elevada capacidad de dilución de compuestos orgánicos, favoreciendo las condiciones naturales de autopurificación que posee el humedal.

Aforo de agua del humedal

La información que se tiene sobre volumen de agua en la quebrada La Angula muestra de cierta manera el comportamiento hídrico del humedal El Pantano, por ser su mayor aportante de agua.

Los promedios presentados para los primeros cinco años (2001-2005) reflejan una mejor aproximación a la media real del ecosistema, lo cual permite un mejor análisis del comportamiento del volumen de agua, mientras que en el 2009 y 2010 solo dos datos impiden un mayor análisis, y solo se puede reconocer el volumen de agua en épocas de lluvias y de sequía. Las tablas 3 y 4 contienen los estudios de aforo de agua realizados por la CDMB, de manera regular entre el año 2001 y el 2005, así como los efectuados esporádicamente en el 2009 al 2010, y los promedios del volumen de agua para cada uno de los años del período, respectivamente.

Tabla 3. *Tabla estudio de aforo-corriente: quebrada La Angula*

# Datos	Fecha	Q (m³/s)	# Datos	Fecha	Q (m³/s)	# Datos	Fecha	Q (m³/s)
1	20-jun-01	0,0684	13	28-may-03	0,0562	24	17-mar-05	0,6575
2	26-jul-01	0,1135	14	26-jun-03	0,0700	25z	15-jun-05	0,6890
3	28-ago-01	0,0238	15	20-nov-03	0,2693	26	28-jul-05	0,4675
4	26-feb-02	0,0656	16	11-dic-03	0,2548	27	25-ago-05	0,5081
5	23-abr-02	0,1091	17	19-feb-04	0,0495	28	15-sep-05	1,0126
6	25-jun-02	0,1167	18	23-jun-04	0,1746	29	20-oct-05	0,1159
7	30-jul-02	0,0509	19	22-jul-04	0,2191	30	02-nov-05	0,6277

# Datos	Fecha	Q (m ³ /s)	# Datos	Fecha	Q (m ³ /s)	# Datos	Fecha	Q (m ³ /s)
8	24-sep-02	0,0291	20	26-ago-04	0,0259	31	21-jul-09	0,0654
9	22-oct-02	0,0271	21	30-sep-04	0,0479	32	22-sep-09	0,0381
10	26-nov-02	0,0660	22	21-oct-04	0,4089	33	17-mar-10	0,035
11	17-dic-02	0,0732	23	11-nov-04	0,3141	34	25-may-10	0,131
12	27-feb-03	0,1766						
Valor Máximo	1,0126							
Valor Mínimo	0,0238							

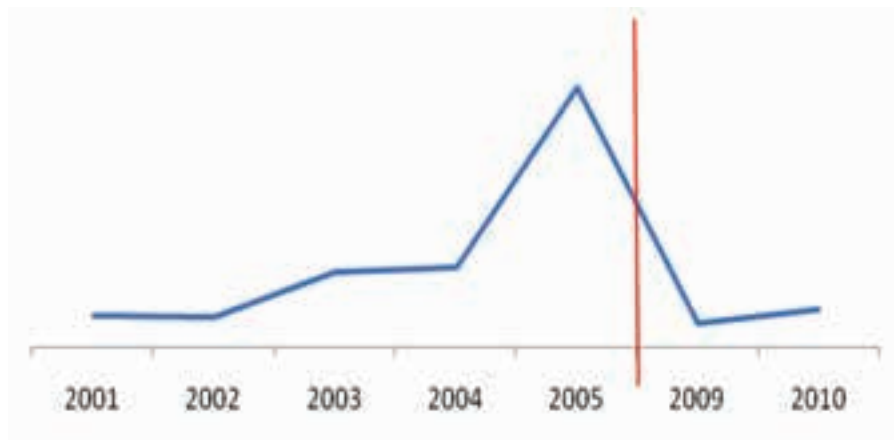
Fuente: CDMB, 2010.

Tabla 4. *Promedio anual Aforo-corriente: quebrada La Angula*

Año	2001	2002	2003	2004	2005	2009	2010
Promedio: Día m³/S	5924,16	5827,06	14288,83	15305,14	50337,87	4471,20	7149,60

Fuente: CDMB, 2010.

Figura 2. Aforo - corriente de agua: quebrada La Angula
(Promedio año)



Fuente: Elaboración propia, datos CDMB, 2010.

El comportamiento de agua ($\text{m}^3/\text{día}$) indica una tendencia ascendente hasta el 2005, sin embargo, comparando 2005 con 2009 es evidente la caída que se tiene de volumen de agua, aun siendo tomadas en épocas de lluvia como lo es julio y septiembre, y en el 2010 se muestra un pequeño aumento con respecto al año anterior, ya que el aforo se efectúa en mayo, época de alto nivel de lluviosidad. Aunque la distribución de los datos no es la más apropiada para inferir juicios certeros que permitan colegir pronósticos que aproximen a la realidad, no es erróneo estimar un futuro incierto para el humedal, dado que los pobladores manifiestan que este alcanzó más de 20 ha de superficie, y hoy, en época de lluvias se llega escasamente a las 14 ha, poniendo en riesgo el suministro futuro de agua a los pobladores rurales de la zona de influencia, en Lebrija y Giron, y a los habitantes del casco urbano de Lebrija.

Los arrayanes es el nacimiento más importante de la zona (vereda El Pantano), se encuentra localizado en predios de una de las empresas avícolas más grandes e importantes de la región, sirviendo de suministro de agua no solamente para el alto consumo de esta empresa, sino a 8 lugareños.

Funciones, productos y atributos del humedal El Pantano. El Pantano es de trascendental importancia para el municipio de Lebrija, porque es el nacimiento de agua que surte a la quebrada La Angula, fuente básica para el abastecimiento urbano, y es oferente de bienes y servicios esenciales para el desarrollo agropecuario de la población del área de influencia. De ahí que sea elemental entender la necesidad de proteger los humedales, áreas frágiles que se degradan con los cambios que le produce el hombre, y al estar formadas por elementos interdependientes, la desaparición o daño a uno de ellos afecta el todo.

Funciones

Dentro de las funciones de un humedal (Lambert, 2003) se tiene:

- **Control de inundaciones:** actúa como esponja, almacenando y liberando de manera lenta el agua lluvia. A su vez, la vegetación reduce la velocidad de circulación de las aguas de épocas de crecida.
- **Contribuye a recargar acuíferos subterráneos:** el agua subterránea es la única fuente de agua potable y para regadío presente en esta zona.
- **Retención de sedimentos y nutrientes externos:** actúa como filtro, proviniendo el aumento de los nutrientes que producen eutrofización.
- **Depuración de aguas:** el humedal elimina los productos químicos tóxicos, como se pudo ver anteriormente en los análisis de calidad de agua.
- **Mantienen la riqueza biológica:** las especies que sustentan este ecosistema abarcan la mayoría de las que se pueden encontrar en la región.
- **Turismo:** sustenta el escenario propicio para establecer turismo con un enfoque ambientalista.

Cuenta con un importante valor ambiental, al ser uno de los pocos hábitats lénticos con que cuenta la jurisdicción de la CDMB en el tipo de zona de vida de Bosque Seco Pre-montano. Este tipo de hábitat sustenta diversidad de plantas y animales; en aguas poco profundas se encuentran plantas enterradas y larvas que constituyen el alimento de peces y anfibios. El Pantano se encuentra a una altitud de 1300 msnm, comprende un área de 14.73 ha, un perímetro de 2483,93 m y tiene una pendiente de 1%.

Clasificación del humedal

Para clasificar el humedal se adopta el sistema de cinco niveles jerárquicos o categorías de los humedales, según la convención de Ramsar, adoptado por la Política Nacional de Humedales de Colombia, el cual siguiendo la clasificación de Ramsar, según el trabajo realizado por la Facultad de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UPB Bucaramanga, el humedal El Pantano corresponde a (Báez & Mendoza, 2005):

Ámbito: interior

Sistema: palustre

Subsistema: permanente

Clase: arbustivo

Subclase: pantanos arbustivos

Superficie

El humedal actualmente comprende una extensión de 14,51 ha, según trabajo de campo.

Régimen de propiedad y figura de manejo

En el 2004 paso a propiedad del municipio de Girón, 154 ha que comprenden la ronda hídrica del humedal y parte de la zona de amortiguación de este; el predio venía siendo administrado por la CDMB, la cual sigue ejerciendo esa función.

Aspectos ecológicos (CDMB, 2008)

- Físicos: El Pantano se localiza a una altura de 1300 msnm, con una temperatura ambiente máxima de 23.1 °C y mínima de 19.2 °C. De acuerdo con el mapa geológico nacional, el humedal El Pantano se formó en la época del cuaternario llamada Holoceno.

Los depósitos coluviales recientes se presentan en esta área del humedal, correspondiendo a sedimentos depositados en el Holoceno por los diferentes causas de drene en la zona, compuestos principalmente por materiales de texturas arenosas y limo arenosas.

La parte rocosa comprende conglomerados arcósicos, arcosa de grano fino hasta grueso, arenisca, feldespática, silistone micáceo rojo o verde, esquistos arcillosos negros y limolita verde o roja.

En el humedal se distingue una zona poco profunda próxima a la orilla, o litoral y una zona abierta (espejo de agua) que recibe luz para la fotosíntesis denominada zona limnética. En la zona se halla una red subterránea de acuíferos permanentes y caños intermitentes que fluyen a un cuerpo de agua abierto, humedal El Pantano, en él se depositan los excesos de agua que en épocas de lluvia aumenta su caudal, contribuyendo al mantenimiento del equilibrio hidrológico de este ecosistema.

El humedal vierte sus aguas a la zona pantanosa ubicada al sur del predio por medio de un caño interconectado, y esta a su vez se comunica con la red hídrica central de la quebrada La Angula.

- Tipo de suelo: Predomina el Thapto Histic Fluvaquents, suelo muy superficial por problemas de mal drenaje, de texturas finas con aportes de materia orgánica.
- Calidad del agua: La dinámica hídrica del humedal ha sido alterada por el manejo inapropiado de las explotaciones económicas, lo cual se manifiesta en la aparición de pequeñas islas por sobre-sedimentación, y la marcada prevaecía de macrófitas acuáticas a partir de la orilla. Este humedal puede interpretarse no solo como unidad geográfica, sino como unidad funcional.

- **Flora:** La flora en los últimos años, es estable, sin embargo al estar en peligro la prevalencia del humedal, están en riesgo de desaparición todas las especies de flora que se encuentran en la zona de influencia, estimando como vegetación asociada 515 especies en las que sobresalen: Sauces; Chagualo; Carbonero; Cedro; Yarumo; Cambulo; Cañabrava; Dormidera; Coquito; Palmiche, entre otras.

El área de influencia directa del humedal se cuenta con apreciables extensiones de gramíneas, con arbustos dispersos o pequeñas asociaciones no superiores de 0.5 ha, y zona regida por pastos con cobertura densa de desarrollo espontáneo sin manejo. Los rastrojos son consecuencia de regeneración de la vegetación nativa con aspecto de bosque secundario intervenido.

- **Fauna:** La fauna es escasa, se reconocen algunas especies de aves, por la cercanía a zonas donde hay mayor alimento, algunos mamíferos, se reporta solo ratones, armadillos y comadrejas. En el caso de reptiles y anfibios se encuentran: lagartijas, serpientes, ranas y sapos.

La escasa fauna es cada vez más amenazada por la destrucción de los hábitats o ecosistemas naturales, la introducción de especies foráneas como pinos y por la contaminación de las aguas con pesticidas y otros químicos.

Entorno del humedal el pantano

En el DMI se señala que la zona de vida del humedal, desde la mitad del humedal hacia la zona nororiental y noroccidental, es zona de bosque subhúmedo premontano y la zona suroriental y suroccidental es zona de bosque seco premontano.

La clasificación de suelos por su capacidad de uso, se destaca que la zona oriental es de suelos no aptos para agricultura y ganadería y se recomienda el uso del suelo solo para vida silvestre, y preservación de la vegetación natural, además de recreación y turismo, en la actualidad se observan los predios de conservación de propiedad del municipio de Girón y administrados por la CDMB, los terrenos adjudicados a la Capilla,

la escuela y el centro de salud de la zona. Además zonas dedicadas a ganadería extensiva, cultivos de tomate y frutales como mango.

Los suelos de la zona norte son aptos para cultivos como café con o sin sombrío, cítricos, frutales y ganadería semi-intensiva, se observó que en la zona norte se encuentran predios dedicados a cultivos de tabaco, piña y ganadería. En la zona sur, igual, es apta para cultivos de café con o sin sombrío, cítricos, frutales y ganadería semi-intensiva, y otra parte es apta para pastos resistentes a la humedad, corresponde a suelos planos y planos cóncavos, con probabilidad de drenaje, superficiales y alta susceptibilidad de inundaciones.

Por la zona sur están ubicados: Por granjas avícolas con un importante número de galpones y cultivos de frutales, como guanábana, maracuyá y yuca. A su vez la zona occidental del humedal es apta para cultivos como café con o sin sombrío, cítricos, frutales y ganadería semi-intensiva.

En la zona occidental se encuentra una parte de reforestación de propiedad de la CDMB y cultivos de auyama, maíz, tomate, pimentón, pepino, maracuyá, papaya, limón, piña, guayaba y pera.

Condiciones socioeconómicas en la zona del humedal

Aspecto metodológico

La investigación se centra en lo cuántico sin desconocer los fenómenos cualitativos que explican las dinámicas ambientales y sociales, al ser propósito de la investigación, la detección de variables para el suministro de elementos y parámetros de valoración económico-ambiental hacia la recuperación y la conservación del humedal El Pantano, mediante el aporte de datos que sirven de base en la planificación del manejo y recuperación con uso de instrumentos de política fiscal, el estudio de campo incluye los predios vecinos por su intervención y afectación de la capacidad del ecosistema de brindar bienes y servicios ambientales - BSA, consecuencia del conflicto entre la actividad agropecuaria de la vereda donde pertenece el humedal y este, debiéndose buscar un equilibrio sistémico y dinámico entre los contextos, económico, social y ambiental.

La investigación partió de la revisión de documentos, libros, textos, revistas y documentos web, enfoque y normas sobre humedales y valoración ambiental, apropiando saberes que coadyuvaron al entendimiento del tema de valoración para la conservación de BSA del humedal El Pantano.

La información secundaria se complementa con datos recolectados por encuesta aplicada a la población³ que habita en la zona, los encuestados fueron (76) setenta y seis personas adultas responsables en los predios visitados, en igual número de predios, buscando tener datos sobre la situación socioeconómica y manejo ambiental en la población de la zona de influencia del humedal.

Análisis situacional

Condiciones sociales de los habitantes

Se destaca que solo el 3% es avicultor y el 5% comparte la ganadería con agricultura, para el restante (92%) la economía depende de la agricultura. Los habitantes de la zona llevan en promedio 16 años viviendo en la zona, destacando que solo cerca del 28% reside allí, menos de 5 años y, el 26% lleva más de 31 años.

Se destaca que el 10,5% de los encuestados son arrendatarios y el 35,5% propietarios, el 50% son aparceros y vivientes. Así como que en los 76 predios residen 450 personas, para un promedio de 6 personas por finca, lo que podría significar un promedio bajo, si se tiene en cuenta el promedio de extensión de los predios de la zona. En efecto, en cuanto a la extensión de los predios se destaca según la tabla 5, que el 56% de los encuestados vive en predios de menos de 5 ha; el 28% en predios de 6 a 16 ha, el 12% de 20 a 70 ha y solo el 4% cuenta con más de 100 ha, estimándose un promedio de 13,8 ha por predio en la zona.

Se destaca la presencia de predios con 100 y 200 ha, por ser esta región una zona minifundista, como se aprecia en la tabla 5.

3. El grupo de encuestados corresponde al total de los habitantes que residen al rededor del humedal El Pantano y se benefician de él directamente, y no corresponde a una fórmula de muestreo estadístico.

Tabla 5. *Extensión de los predios*

Hectáreas	No.	%	Hectáreas	No.	%
0 y 1	14	18,4	15 y 16	5	6,6
1 y 2	10	13,2	20 y 24	3	3,9
2 y 3	8	10,5	30 y 35	3	3,9
4 y 5	11	14,5	50 y 70	3	3,9
6 y 7	6	7,9	100	2	2,6
8 y 9	4	5,3	200	1	1,3
10 y 12	6	7,9	Total	76	100,0

Fuente: Elaboración propia.

Servicios públicos en la vereda y uso de residuos

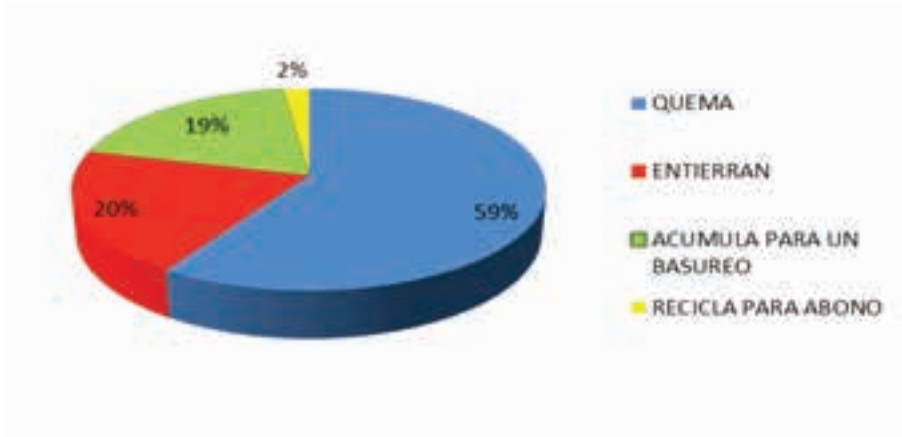
- **Salud.** La situación en cuanto al servicio de salud en esta zona es baja, debido a que no cuenta con un centro de salud equipado para atender las necesidades o emergencias que se presenten en la misma, dependiendo de las brigadas de salud programadas por la alcaldía del municipio y jornadas de vacunación.
- **Educación.** La mayoría de los menores tienen acceso a la educación de la escuela de la vereda, la cual está ubicada a escasos metros del humedal y las vías de acceso son buenas.

La calidad de la educación se considera buena, no obstante las instalaciones se encuentran en regular estado, por lo que quienes tienen mayores posibilidades económicas estudian en Girón.

La mayoría de encuestados manifiestan que solamente cuentan con servicio básico de luz eléctrica. El 75% manifiesta que cuentan con agua, pero no como servicio público, esta proviene de los nacimientos naturales, no hay red de acueducto y alcantarillado en la zona. No cuentan con el servicio de gas natural, por lo que el 86,8% recurre a la utilización de gas propano para la cocción de sus alimentos y el 73,7% a leña. El hecho de que la sumatoria de los porcentajes supera el 100%, indica que la mayoría de los pobladores de la zona hacen uso de las dos fuentes de energía, dependiendo de manera alguna a la cultura del uso de la leña.

En cuanto al manejo de residuos sólidos domiciliarios (basuras), el 59% de las familias los queman, el 20% los deposita en un hueco hecho en la tierra para el propósito, y un 19% los recolecta y acumula para un basurero, solo el 2% recicla lo orgánico para convertirlo en abono.

Figura 3. *Destino de residuos sólidos*



Fuente: Elaboración propia.

Referente a la disposición de agua en los predios, el 53% de los encuestados manifestó tener nacimientos naturales de agua en su predio y el 57% expresa que conocen la ubicación de otros nacimientos de agua en la zona, identificándose 20 predios con nacimiento de los que se surten.

Los encuestados que cuentan con nacimientos de agua en sus predios, la utilizan solo para consumo doméstico diario (cocinar y lavar), el 26% solo para el riego de sus cultivos y un 11% restante para ambas cosas, riego y consumo, lo que demuestra un importante volumen de nacimientos y de agua. Esa disposición de agua se utiliza en más de la mitad de fincas acopiándola por gravedad con uso de mangueras, en depósitos o tanques con capacidad de 1000 litros de agua, otros utilizan motobomba para acceder al preciado líquido, en especial quienes dependen directamente del humedal.

El 33% del agua para su consumo la obtienen de un nacimiento ubicado en fincas vecinas, la mayoría nombra la finca Los Arrayanes y los nacimientos La Mesa, La Colorada, entre otros. El 8% la obtiene de las quebradas La Alumbre y Los Gaques, y el 9% restante obtiene el agua del humedal, por lo anterior, pareciera que este humedal no es importante para los habitantes de la zona, sin embargo, se debe tener en cuenta que el humedal alimenta de agua la quebrada La Angula, base del suministro del casco urbano de Lebrija. A su vez es importante tener en cuenta que la eminente pérdida del humedal pone en riesgo los nacimientos en los diferentes predios y demás fuentes de suministro en la región, de acuerdo con las dinámicas de la red hídrica subterránea relacionada con el humedal.

Percepciones sobre el humedal y el entorno

Frente a la pregunta ¿Qué bienes naturales aprovecha del humedal?, aunque solo cerca del 20% respondieron esta pregunta, se evidenció que el 18% aprovechaba el agua, ahora solo lo hace el 3% una vez a la semana, para riego. El 4% manifiesta que antes pescaba ocasionalmente, pero ahora solo una persona lo hace algunas veces. Menos del 3% de las personas dice que antes utilizó el humedal para sacar leña, para plantas de vivero y para sacar abono de manera esporádica, pero en la actualidad no lo hacen.

Sobre las condiciones del humedal. El 53% opina que en los últimos años el humedal ha desmejorado, el 34% cree que ha permanecido igual y solamente el 13% de ellos cree que ha mejorado, demostrando alta subjetividad en la opinión.

Para los habitantes de la zona el principal problema que afecta el humedal es la sequía (50%), para el 15% los desechos arrojados al agua y la tierra por los cultivos y actividades avícolas, el 9% piensa que la falta de mantenimiento debido a mucha maleza y descuido de la CDMB, el 7% considera que es la deforestación. Adicionalmente se evidencian problemas como la siembra cerca del área del humedal, la falta de vías de acceso a la zona y la inseguridad, como lo expresa el 5% y, el 7% dice que otros problemas como el mal olor, las quemadas de basura, cultivos y plagas, entre estas la aparición de gran cantidad de serpientes. Si se tiene

en cuenta la medición topográfica realizada se corrobora la percepción del 53% de los encuestados, que manifiestan que el humedal ha desmejorado, además manifiestan que antes la pesca y caza era una actividad de subsistencia.

En la figura 4 se aprecian los diferentes problemas que según los lugareños afectan al humedal.

Figura 4. *Problemas que afectan el humedal*



Fuente: Elaboración propia.

La recuperación del humedal

Casi la mitad de los encuestados ha participado en programas de recuperación del humedal, los proyectos que más se mencionan por la mitad de ellos son los de reforestación en la zona, el 25% nombra proyectos de arreglo y limpieza del humedal y el restante menciona proyectos de conservación y protección de la CDMB, y unos pocos manifiestan haber escuchado de compra de tierras y de zona turística. Al 87% le gustaría que la zona del humedal se convierta en reserva natural, por razones de conservación del agua y, mejorar el ambiente. El 88%, estaría dispuesto a participar en procesos de preservación, mediante tareas de reforestación y con mano de obra en tareas específicas.

El 80% manifiesta no estar dispuesto a vender el terreno donde habita, o mudarse de allí, el 15% no responde a esta pregunta y solo un 5% sí

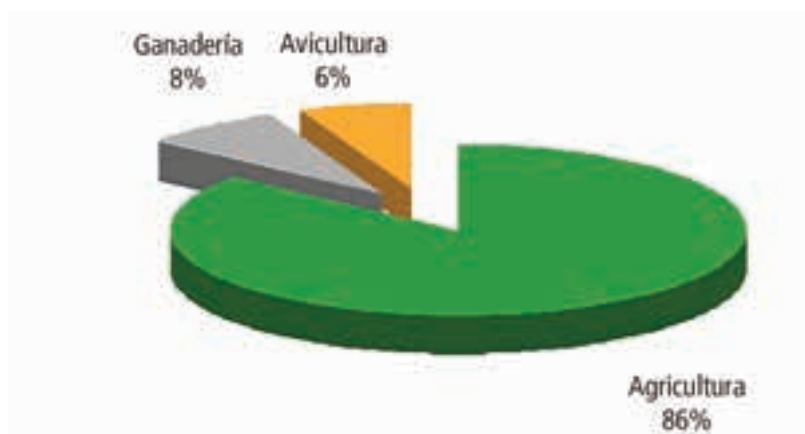
estaría dispuesto a vender siempre y cuando les paguen bien lo que vale el terreno, pero no se atreven a dar cifras (se debe tener en cuenta que los datos no son concluyentes para esta pregunta puesto que solo el 35% de la muestra son propietarios, pero la mayoría de ellos no vendería).

La actividad económica, referente a un eventual PSA en la conservación y recuperación del humedal

El 86% de los predios considerados en el estudio están dedicados principalmente a la agricultura, el 8% tiene ganado y el 6% presenta actividades de avicultura destinando hasta una hectárea, conforme se expresa en la siguiente figura 5.

En la actividad agrícola el cultivo de tomate corresponde al 20% de los predios, pimentón al 18%, maracuyá al 17% y piña al 14%, después están los cítricos como el limón, naranja y lulo sembrados en el 6,5% de predios, el pepino y la guayaba en 5,6% de predios y algunos predios (menos del 6%) siembran otras frutas como pera, guanábana, mango y aguacate, el tabaco, el maíz y la yuca también están presentes en menor porcentaje.

Figura 5. *Uso del suelo*



Fuente: Elaboración propia.

El 32% de personas encuestadas dedicadas a la agricultura no recuerdan el volumen de producción por ha, el 15% dice que está entre 1 y 2 tn/ha mes, el 9% entre 5 y 6 tn/ha, y casi el 8% de ellos produce entre 3 y 4 tn/ha, siendo estas las mayores frecuencias de respuesta. El 18% se encuentra en un rango de producción entre 20 y 50 tn/ha.

Solamente el 5% de los agricultores de la zona dedica su producción para el autoconsumo (generalmente pequeños predios), el 95% restante desarrolla agricultura comercial. Los productores estiman que los gastos se dividen en un 31% para insumos agroquímicos, el 25% para mano de obra, el 23% para fertilizantes, el 18% para transporte, y el 3% para alimentación.

Valoración ambiental en la conservación de BSA

Si bien es cierto, que el tema de bienes y servicios ambientales - BSA, así como el concepto de pago por servicios ambientales - PSA, son de actualidad, también son motivo de contradicciones. Las definiciones están dependiendo de los propósitos que se persiguen, jugando un papel destacado en la evolución de las concepciones el dinamismo tecnológico, la orientación del mercado mundial por la Organización Mundial del Comercio “OMC”, las políticas de aduana, el mismo concepto de PSA en la política de conservación y educación ambiental, entre otros.

Avanzar en la valoración de BSA implica una conceptualización precisa, para no incurrir en errores que legitimen políticas equivocadas de pago por servicios ambientales - PSA; en este sentido, se debe entender como servicios de los ecosistemas, “a las condiciones y procesos a partir de los cuales los ecosistemas y las especies mantienen y satisfacen la vida humana”. El PNUMA en la evaluación de los ecosistemas del milenio brinda un concepto más útil, reconociendo los BSA como: “producto de las funciones de los ecosistemas que benefician a los seres humanos o que las personas obtienen de los ecosistemas” (Montes, 2007). Bajo esta concepción se reconocen cuatro tipos de servicios: de provisión (alimentos, madera y fibras); de regulación (del clima, inundaciones, enfermedades y calidad del agua); culturales (valores espirituales, estéticos, recreación y educación), y de apoyo (formación de suelos, producción primaria y reciclaje de nutrientes).

La valoración ambiental en términos monetarios, debe estar ligada íntimamente al bienestar de la humanidad, lo cual depende de las características de los efectos y beneficios que brinda la naturaleza. En la implementación de métodos o modelos para el fin, es importante aclarar los propósitos, que con ello se persigue, en lo cual medir el desarrollo es ineludible, siendo el significativo, establecer registros para la evaluación de la sostenibilidad en este. Si bien, existe una estrecha relación entre la naturaleza y el dinamismo de la economía, el valor de los bienes y activos naturales va más allá del simple beneficio económico generado por su usufructo, como el equilibrio del contexto ambiental y un bienestar colectivo o social. Lo que impide la valuación de los BSA derivados de los ecosistemas, a precios de mercado, como si fuese factible la privatización de sus beneficios (equilibrio hídrico, atmosférico, etc.), como tampoco lo es, la valoración por dineros vinculados en su conservación, mantenimiento o recuperación, al ser estos, fuente de grandes beneficios originados en los mismos procesos de transformación natural. Un ejemplo claro lo constituyen las plantas, que no obstante ser cultivadas y cuidadas por el hombre para su usufructo, su crecimiento es producto de la transformación de la energía en materia, mas no de la cantidad de dinero que este ha asignado para su siembra y sostenimiento, lo cual solo permite evaluar su beneficio económico, y son estas las que oxigenan la atmósfera, protegen el suelo, conservan el agua y sirven de hábitat para otras especies vivas, potencializándose su valor por encima de los beneficios económicos.

Dada la complejidad en los beneficios aportados por la naturaleza; su valoración real esta distante de cualquier método existente, por consiguiente se deben ajustar procesos y técnicas que aproximen su valor, relativo al hombre y sus beneficios directos e indirectos, es decir bajo un enfoque antropocéntrico. La importancia de establecer un valor aproximado para los BSA, se remonta a la necesidad de integrar los legados que la naturaleza hace al hombre, a los procesos de evaluación sobre cómo se está enfrentando el problema de la supervivencia en el desarrollo. Si bien estos son dones de la creación, su uso irresponsable obliga a que la naturaleza y el ambiente se incorporen en la racionalidad económica (Mantilla & Agudelo, 2009).

Castiblanco (2003) afirma que el objetivo último de la valoración económica, desde el enfoque de la economía ambiental es darle valores monetarios a los BSA que ofrecen los recursos naturales y ambientales independientemente de que posean o no mercado, buscando en últimas tener una herramienta de conocimiento y manejo común, para poder

analizar los costos y beneficios que traería consigo cualquier decisión que se tome. Estas valoraciones convierten un daño ambiental en una unidad de medida que es entendida por la sociedad; es por esto que los precios de mercado son la solución a esta problemática, dado a que ellos son de común dominio, facilitando el análisis de las pérdidas o ganancias que en términos monetarios adquiere la sociedad con una modificación ambiental.

Son varias las propuestas de valoración económica ambiental utilizadas a nivel mundial, sin embargo, vale la pena revisar las más utilizadas por la naciones, con el fin de poder evaluar costos y beneficios que traerá consigo la implementación de una determinada política ambiental, si es relevante y benéfico para la sociedad la aplicación de esta. El cálculo de la valoración económica de bienes y servicios ambientales, a través de métodos de valoración, puede hallarse desde dos enfoques: los Métodos de Valoración Directos (MVD) o de preferencias declaradas y los Métodos de Valoración Indirectos (MVI) o de preferencias reveladas.

Los métodos indirectos comúnmente usados son: método de los costes evitados o inducidos, método de costo de viaje y método de precios hedónicos; reciben este nombre porque el valor se halla por medio de precios del mercado que tengan de una u otra forma relación con el bien o servicio ambiental por valorar. Dentro de los métodos directos encontramos el método de Valoración Contingente, se considera directo, ya que se hace mediante la formulación de preguntas directas sobre el valor que las personas le dan al medio ambiente, a través de la creación de un mercado hipotético (Azqueta, 1994) (tabla 6).

Tabla 6. *Valoración económica total (VET) ambiental*

VALORES DE USO			VALORES DE NO USO
Directos	Indirectos	Valor de Opción	Valor de Existencia
Pesca Agricultura Leña Recreación Transporte Turba Energía Explotación de flora y fauna silvestre	Retención de nutrientes Control de crecidas e inundaciones Protección contra tormentas Recarga de acuíferos Apoyo a otros ecosistemas Estabilización del microclima	Posibles usos futuros (directos e indirectos). Valor de la información en el futuro.	Biodiversidad Cultura, patrimonio Valores de legado.

Fuente: Adaptada de Barbier (1993, 1994) y Scodari (1990).

Si bien los BSA no tienen un precio en el mercado, tienen un valor, debido al bienestar que ofrece al individuo; sin embargo, el hecho de que no tengan un precio o valor monetario es una dificultad relevante a la hora de las decisiones que deben tomar los entes correspondientes para la corrección de externalidades, daños ambientales y degradación ambiental, pues no hay disponible una medida para los BSA. Por tal motivo se utiliza la teoría del valor económico total, VET el cual clasifica los diferentes valores que pueden tener un bien o servicio ambiental. De esta forma se puede hablar de valores de uso y valores de no uso (Azqueta, 1994).

Para realizar la valoración económica ambiental en orden a la VET, se dispone de métodos directos e indirectos.

Ante las controversias surgidas sobre la efectividad de la valoración ambiental por estos métodos y la búsqueda de valores que aproximen la realidad de la relación hombre - naturaleza, se han planteado otras posturas de una mayor cobertura conceptual, destacando el “Método multicriterio y Método conjoint o valoración asociada”.

Método multicriterio. Consiste en contrarrestar tanto los atributos en la función de valor de los bienes en estudio, con la heterogeneidad en

las funciones de utilidad de los individuos. Como su nombre lo indica es un análisis de múltiples criterios que comprende atributos, criterios, objetivos, metas y restricciones. Los criterios pueden representar tanto un atributo como un objetivo. Un modelo de análisis de múltiples objetivos y múltiples atributos es un análisis de múltiples criterios. Para el desarrollo de este método se realiza una matriz de impactos que muestre los indicadores seleccionados para la evaluación de cada uno de los criterios utilizados, como económicos, sociales, institucionales y ambientales. Estos indicadores a través de encuestas permiten evaluar la posición de los diferentes grupos de actores ante el análisis de la situación actual y futura de los servicios ambientales, ofrecidos por la naturaleza, es así como cada uno de los indicadores se evalúa a través de preguntas claves que permiten extraer la posición de cada grupo de actores ante las alternativas planeadas.

Después de definir los indicadores, se llevará a cabo el proceso de recolección de información primaria, a través de talleres con diferentes grupos de usuarios o distintos actores sociales que tengan que ver con el recurso y en estos talleres básicamente se pregunta la disponibilidad adicional a pagar para la protección del recurso ambiental de cada grupo y, finalmente, se analiza la información, se proponen políticas y se promedia la disponibilidad para pagar por la protección del recurso ambiental por grupos de actores consultados, como lo puede la sociedad civil, las empresas privadas, organizaciones no gubernamentales, organizaciones públicas, etc.

De forma sintetizada, el análisis multicriterio es un método de toma de decisión en situaciones de fuerte incertidumbre y de complejidad. La idea general es que la sociedad enfrenta una serie de objetivos sociales múltiples (desarrollo económico y conservación de la biodiversidad, por ejemplo) y el impacto en la realización de estos objetivos no es fácilmente cuantificable. Permite intercambiar indicadores monetarios y no monetarios representativos de la situación estudiada. Tiene dos ventajas: ofrece una perfecta representación de los problemas relacionados con la toma de decisión, puesto que se tienen en cuenta varios objetivos perfectamente legítimos de la sociedad, e informa de manera clara sobre el origen y tipología del problema estudiado.

Método conjoint o valoración asociada. Este método es muy utilizado en Colombia por el Instituto Humboldt y aunque tiene similitud con la valoración contingente, este método intenta reducir los límites que la valoración contingente presenta en materia de la valoración de bienes y servicios ambientales que no tienen precio en el mercado, como los sesgos generados por los procedimientos metodológicos, por la incapacidad de estimar monetariamente el cambio en el nivel de bienestar como consecuencia de un hipotético cambio ambiental y por el impacto real de la disponibilidad para pagar como resultado de la valoración económica. Supone la elaboración de un escenario hipotético donde se reflejan los beneficios generados por la conservación de los recursos ambientales. Se basa en la idea que los individuos derivan sus preferencias por un bien de acuerdo con los atributos o características que hacen que este bien sea atractivo. Así se podría estudiar cómo influye la variación de los atributos de un bien o servicio en la toma de decisión de los individuos. De manera general, dos características fundamentales son la base de la evaluación conjoint: primero, el programa o proyecto se caracteriza por ser un bien compuesto de diferentes atributos; segundo, los individuos expresan sus preferencias por el bien en cuestión concediendo un puntaje de acuerdo con la variación de los atributos que componen el bien en consideración.

La principal cualidad de este método es que se crean diferentes escenarios, donde se tiene presente los atributos del recurso natural y su rango de variación, con el fin de identificar qué tanto se ve afectada la decisión de los encuestados por el cambio en los atributos o características del bien. Por tanto un modelo de pregunta sería ¿cuánto estaría dispuesto a pagar por la recuperación o conservación de un de recurso natural?, que se puede manejar por porcentajes, por ejemplo, por la recuperación de X% de determinado bien natural.

Costo de oportunidad. En particular la valoración ambiental para la conservación de BSA no individualizables ni privatizables, por su carácter de públicos, implica reconocer el sacrificio económico necesario para conservarlos y, más aun, cuando impera la propiedad privada, debiendo obedecer a la articulación de parámetros que sirvan de base para avanzar en el PSA (Wunder, 2006), siendo este una alternativa para conservar

los ecosistemas ofertantes de BSA, fundamentales en la supervivencia humana y demás formas de vida.

En efecto la responsabilidad de conservación de un ecosistema de interés público está en manos de quienes ostentan la propiedad o dominio del predio que lo conforma, y de las personas que habitan la zona adyacente, ya que son ellos quienes pueden elegir el uso que le darán al suelo. No obstante, desde las organizaciones y el Gobierno al estarse promoviendo la necesidad de preservar los ecosistemas boscosos como captadores de CO₂ y protectores - extractores de agua, la condición económica y cultural impide que los pobladores de la zona se encarguen de conservar y velar por la sostenibilidad ambiental, razón por lo que el PSA se convierte en alternativa que motiva la conservación (Sajurjo, 2001).

El interrogante que surge para ese fin es ¿cuál sería el valor por pagar a estos propietarios por conservar un ecosistema? La respuesta se encuentra en el pago que desvíe el interés de explotación la naturaleza y el suelo, para adoptar una actitud conservacionista, en lo cual resulta razonable que la explotación cesaría si los que ostentan el dominio del suelo y el ecosistema que en él yace, reciben lo que dejan de ganar por realizar actividad económica alguna, es una opción. Es decir, compensar el ingreso neto que dejan de percibir por no explotar o dejar de darle uso a la tierra en las actividades agropecuarias según la cultura local, lo que se reconoce como “coste de oportunidad”. El coste de oportunidad sirve de base para el pago, ajustado a índices de biodiversidad y densidad (Mantilla, 2008).

En consecuencia el PSA resulta ser un incentivo para que los lugareños decidan conservar ciertas áreas que coadyuven a la recuperación y conservación del humedal, actuando como administradores o garantes de la oferta de BSA. Sin embargo, dado que se ha avanzado en la deforestación del entorno, eliminando la zona protectora del humedal, y desprovista de vegetación extractora de agua, la recuperación del humedal hace necesario llevar a cabo un plan de reforestación del área que contextualiza el pantano (Cordero, 2008).

El humedal El Pantano aporta aproximadamente un promedio de 147.312 m³ mensuales a la quebrada La Angula, proveedora de agua para el consumo en el casco urbano del municipio de Lebrija con una población superior a los 31.000 habitantes y para el desarrollo de la actividad agropecuaria del área rural de Girón y Lebrija, en su zona de influencia. En fin avanzar en la valoración del agua por su existencia sería algo complejo por ser fuente de vida, aunque individualizable y privatizable, su consumo es fundamental para la vida, lo que le da el estatus de bien público; condición que lleva a la reflexión sobre las alternativas que tendría el municipio para reponer el preciado líquido, en caso de desaparición del humedal (Lambert, 2003).

El asegurar la sostenibilidad hídrica del humedal implica no solo conservar lo que queda del ecosistema, sino la recuperación de la zona protectora del mismo, por lo que se requiere la siembra de especies arbóreas de protección hídrica. Desarrollar un proyecto de reforestación en 204,97 ha, en adición a las 75,03 ya existentes, con especies protectoras que según la CDMB es el *pinus oocarpa*, la especie de mejor adaptabilidad, reconocido como especie productora y protectora de agua, no obstante, es importante reconocer las especies autóctonas de la región, pues en el pasado fueron las que sustentaron el humedal.

En síntesis, para la recuperación y posterior conservación del humedal, se plantea la siembra de 205 ha de pino, cuyo costo total para los cinco años estimados como base para asegurar el desarrollo forestal, se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. *Inversión forestal para bosque protector del humedal El Pantano*

Sistema	REFORESTACION PROTECTORA 205 has.		
Corporación	CDMB- Humedal El Pantano		
Nombre del proyecto	Valoración Económica del Bosque Protector Precios constantes 2010		
Año 1	Costos Directos	Costos Indirectos	Total Año
Valor/Ha	2.340.878	443.279	570.731.736
Valor/Año	479.879.949	90.851.787	
Año 2	Costos Directos	Costos Indirectos	Total Año
Valor/Ha	834.999	99.160	191.502.603
Valor/Año	171.174.836	20.327.767	
Año 3	Costos Directos	Costos Indirectos	Total Año
Valor/Ha	618.325	83.385	143.850.599
Valor/Año	126.756.666	17.093.933	
Año 4	Costos Directos	Costos Indirectos	Total Año
Valor/Ha	491.125	70.665	115.166.999
Valor/Año	100.680.666	14.486.333	
Año 5	Costos Directos	Costos Indirectos	Total Año
Valor/Ha	570.230	86.486	134.626.300
Valor/Año	116.897.150	17.729.230	
Total Costo del Proyecto			1.155.878.317

Fuente: Elaboración propia.

La siembra de pino no será para explotación económica, por ser bosque protector, por tanto no se tiene en cuenta ninguna rentabilidad; sin embargo, en la medida del desarrollo y madurez del bosque se podrán realizar talas selectivas con reposición (entresacas), como técnica de mantenimiento del bosque joven, una excelente alternativa en la captación de carbono. Esto implica, que la erogación para el desarrollo del bosque protector, nuevo (205 ha) en el entorno del humedal El Pantano, sea en total de \$1.155.878.317, adicional a lo ya invertido en la reforestación realizada por la CDMB; lo que significa una inversión por hectárea de \$5.638.431.

Ahora bien, si en la reforestación se pueden aprovechar los incentivos que otorga el programa de certificado forestal; el PSA es una alternativa viable para el cubrimiento de la inversión en un período de 5 años distribuida homogéneamente, que equivale a precios constantes a un costo por ha/mes/año de \$93.974, para un total de \$19.264.638,62;

con una inflación media del 4%, que para los cinco años sería un PSA de \$30.623.706, ajustado año por año se tendría una cuota de PSA mensual por año de: \$30.623.706, \$32.154.891; \$33.762.636; \$35.450.767; \$37.223.306, respectivamente.

Adicional al valor del PSA por inversión forestal, es necesario un PSA equivalente al costo de oportunidad, que se debe convertir en el ingreso de los propietarios o quienes tienen el dominio sobre el predio reforestado, durante el tiempo de conservación o no explotación del suelo y se debe calcular sobre el cultivo predominante en la zona. Los cuatro cultivos de mayor presencia al momento de la encuesta eran en su orden tomate, maracuyá pimentón y piña; no obstante, el cultivo de vocación cultural, adaptabilidad de suelos, y mayor rentabilidad es el de piña; por ende se tendrá en cuenta este cultivo, para determinar el coste de oportunidad de los predios que se involucran en la reforestación. A su vez hay que reconocer que la piña por su beneficio económico ha sido la causante de la progresiva deforestación de la zona y muchas veredas de la región.

Como se mencionó el total de tierra involucrada en el proyecto de reforestación es de 280 ha de bosque protector, para un total de 304 ha de suelo que quedará improductivo o no explotable comercialmente, pues el suelo que constituye directamente el humedal al secarse como ha estado presentándose, también será explotable en actividades agropecuarias, aunque es de evaluar ¿con qué agua se haría?

Según los lugareños de la vereda El Pantano, la costumbre de siembra permite una densidad por ha, entre 50.000 y 60.000 matas, según sea en surco doble o triple (distancia de siembra 0,90 x 0,45 x 0,45 x 0,30 m). Con esta técnica de cultivo se estima una producción de 66,93 ton/ha, durante dos (2) años considerados como la vida útil, por ser de mayor rentabilidad, pues si bien, el cultivo se puede mantener más tiempo en explotación, la calidad de los frutos reduce sustancialmente el beneficio neto, dejando de ser rentable. Según análisis de costos de producción, se estima que el costo por ha para el año uno es de \$10.880.484,40, y para el segundo \$ 4.110.676,20, a precio constante del 2010, como se observa en la tabla 8. El hecho de presentar los cálculos a precios constantes de

2010, implica que al momento de ejecutar la política es necesario realizar ajustes por inflación acumulada.

Tabla 8. *Presupuesto por ha del cultivo de piña*

Rendimiento (toneladas/ hectáreas)		66,93
Costo de producción (\$/ hectárea)	1er año	10.880.484,4
	2do año	4.110.676,2
Precio pagado al productor (\$/hectárea)		500.000,0
Ingreso (\$/hectárea)		33.465.000,0
Utilidad promedio año útil (\$/hectárea)		9.236.919,7

Fuente: Autores de la investigación.

Para el cálculo de los ingresos en el cultivo de piña se estimó que el producto en el mercado mayorista y, puesta en finca o sitio de producción, tiene un precio promedio aproximado de \$500.000 ton; que equivale a un precio por guacal de 30 kg de \$15.000, o sea \$500 kg. Con este precio se estima un ingreso promedio por hectárea, durante su vida útil de \$33.465.000, descontando los costos totales del cultivo permite una utilidad neta de \$9.236.919,70. Esto significa que al dedicar el suelo a la siembra de especies protectoras, se deja de percibir por conservar el área del ecosistema, \$2.623.285.194,80 ($\$9.236.919,70 \times 284 \text{ ha}$) o \$2.808.023.588,80 al incluirse el área del humedal ($\$9.236.919,70 \times 304 \text{ ha}$), valores que se deben recolectar para el PSA, si se quiere buscar que los finqueros dediquen parte de sus propiedades a bosque de protección, lo cual beneficiaría a las familias del área rural de la zona de influencia (Girón y Lebrija) y a la población del casco urbano del municipio de Lebrija.

NOTA: Con la base de cálculo para el PSA, se debe reglamentar el procedimiento y acordar con los propietarios de los predios involucrados en la conservación, el pago. Al haberse establecido el coste de

oportunidad a precios de 2010, y proyectados a precios constantes, la actualización al período de convenio de pago se ajusta por índice de precios al productor.

Condiciones por tener en cuenta para la recuperación y conservación

La necesidad de proteger la naturaleza y asegurar la sostenibilidad ambiental en el desarrollo nacional, está conllevando la declaración de zonas de reserva, obligando la compra de predios, que dada la formalidad histórica de compra no se compadece con la realidad del valor comercial de los predios, y que en muchos casos se está convirtiendo en una forma legal de generar desplazamiento, con el agravante que el ingreso obtenido en la enajenación de sus fincas no les alcanza para organizar un proyecto de vida ciudadano, aumentando la marginalidad en los centros urbanos.

De ahí que ante la alternativa los lugareños de El Pantano manifestaran no estar dispuestos a vender su predio. En consecuencia, el PSA se convierte en la mejor opción, para la conservación y la recuperación del humedal, al incentivar a la población campesina a ser protectores de la naturaleza en su beneficio y el de la humanidad, y mantener sus niveles de vida con calidad, desde sus hábitos y costumbres, sin desprenderse de sus hábitats.

El PSA, como alternativa para la sostenibilidad ambiental en el suministro de BSA de importancia para el desarrollo humano, debe obedecer a realidades ambientales y aporte al bienestar en el marco del desarrollo, por ende el control debe ser permanente, lo cual obliga a la implementación de un sistema de información ambiental geo-referenciado (Contabilidad Ambiental) que facilite el monitoreo de los escenarios objeto del beneficio de pago.

Uno de los problemas detectados en el estudio y, que desde la USTA se ha venido ratificando, es la falta de cuentas regionales que señalen el valor de la producción de los municipios, y de esta forma conocer el potencial productivo, que apoye el desarrollo de políticas públicas acordes a las necesidades de los territorios. A su vez si el coste de oportunidad

se convierte en la herramienta para definir la base del pago, no se puede generalizar un valor estándar por predio, pues el bienestar social y la sostenibilidad ambiental dependen de la biodiversidad, la densidad forestal, el volumen de biomasa y la importancia relativa de las cuencas y micro-cuencas.

La sostenibilidad hídrica para asegurar el suministro de agua a la población de la zona de influencia, exige el esfuerzo de los diferentes actores sociales, Gobierno, empresa y sociedad civil, en acciones de protección y recuperación del humedal, requiriéndose apropiar áreas de suelo agrícola, cambiando su uso a propósitos de protección, lo que implica el sacrificio económico de los propietarios o quienes tienen el dominio del suelo. Sacrificio que puede ser compensado con la fijación un PSA, el cual requiere de la reglamentación por parte del Gobierno nacional, es importante tener en cuenta que el pago es una acción de responsabilidad social para los diferentes actores sociales (Mantilla & Mantilla, 2010).

Para avanzar en el buen propósito del PSA, en procura de recuperar y conservar el humedal El Pantano, es importante tener en cuenta:

- Si bien los estudios desarrollados por la CDMB en la zona del humedal como el DMI del Pantano, han aportado amplia información sobre aspectos ambientales de la zona, su flora y fauna, así como el reconocer necesidades y proyectos para la conservación del importante ecosistema, la percepción de los lugareños es que pareciera que los estudios no son tenidos en cuenta para avanzar en el manejo ambiental y recuperación de la zona y de ahí que se haya encontrado reducción del espejo de agua del humedal El Pantano, lo que conlleva la reducción de fauna nativa de la zona, condición que supone la apropiación de la problemática ambiental y las soluciones por parte de la población, en alianza con la autoridad ambiental.

De hecho, la CDMB cuenta con planos donde señalan las principales amenazas que afectan los alrededores del humedal El Pantano, como ligera erosión, escurrimiento difuso, desecación del humedal, este último como lo señala el mapa topográfico se ha dado en 0.8 ha en 5 años, tomando de referencia el estudio de

(Báez & Mendoza, 2005). Se debe adicionar a las amenazas el nivel de contaminación que se puede estar dando debido a la cercanía de los galpones a los desagües del humedal que alimentan la fuente de la quebrada La Angula.

- Desarrollar reforestación en el área adyacente al ecosistema acuoso, con la apropiación de suelos de propiedad privada y de propiedad oficial. En el caso de los predios de propiedad privada, el costo de la reforestación se debe entender como la inversión realizada por los lugareños para poder acceder a los beneficios del PSA. Después de establecido el bosque se fijará la tarifa de PSA, en atención al costo de oportunidad del uso del suelo. Este pago se iniciará mínimo dos años después de haberse establecido el bosque, previa comprobación del buen estado.
- Se debe organizar un fondo exclusivo para el PSA, alimentado con el cobro de Tasas de Beneficio Ambiental -TBA, pagada por los beneficiarios en el uso del agua, suministrada por el humedal, y por la venta de certificados de captación de CO₂; debiéndose distribuir el valor de los BSA, en orden a la protección hídrica y captación de carbono, atendiendo el costo de reposición del agua, como variable de valoración hídrica. El fondo debe ser administrado por la autoridad ambiental competente de la zona de influencia del ecosistema, para el caso es la CDMB. La TBA hídrica se fijara por volumen de uso y de acuerdo con la estratificación de los usuarios.
- La recuperación de una zona protectora implica dejar 4 ha para áreas de tránsito o senderos y protección de las especies nativas ya establecidas en el predio, así como aislar las 20 ha pertenecientes directamente al humedal que comprende el espejo de agua, el lodazal y la parte que se asume como de recuperación, a estados iniciales; quedando por reforestar en este predio un total de 54,97 ha. A esta área se le adicionan las 150 ha que aportarían los propietarios de los predios colindantes, y que deberían ser compensados mediante el PSA, por cobro a beneficiarios directos.

- Articular la ley y el decreto reglamentario para el PSA en Colombia, con el fin de evitar inequidades y desvío de recursos monetarios, promoviendo la veeduría ambiental y la declaración ambiental, para planificar el PSA y ejercer auditorías de control y eficiencia del pago y del recaudo, por parte del Fondo de PSA.
- El establecimiento del presupuesto para el PSA en el municipio de Lebrija, hacia la conservación del ecosistema hídrico El Pantano, implica la adopción de un sistema de costeo operacional y de prestación del servicio por parte de la empresa de servicios públicos del municipio, y evaluar otras posibles fuentes de suministro hídrico como comparativo de reposición en caso de pérdida del humedal. Aquí es importante evaluar el potencial de las fuentes subterráneas y el costo que implicaría su explotación y tratamiento como alternativa de suministro.
- Las empresas tienen la responsabilidad social en las zonas de influencia por sus consumos de bienes naturales y contaminación ambiental, y la CDMB en asocio con ONG, e instituciones educativas y con el sector empresarial que se beneficia de la riqueza que produce la zona, podría liderar un proyecto de acción social en prevención, manejo y manipulación de alimentos, insumos usados en los cultivos, y además desarrollar actividades de apoyo a los habitantes menos favorecidos para contribuir con el alcance de una vida con calidad, trabajar por una cultura de conservación y, que su labor sea vea y asuma como una alternativa económica socialmente responsable.

Conclusiones

La experiencia de valoración del humedal El Pantano permite evidenciar que la opción para avanzar en la sostenibilidad ambiental de la región, es articulando los esfuerzos mancomunados entre los diferentes actores sociales de influencia en la zona, empresa, gobierno y sociedad civil, e incorporando procesos educativos con las poblaciones que se relacionan directa e indirectamente con ecosistemas que ofertan BSA fundamentales para la vida, con un único fin, avanzar en una cultura de

sostenibilidad ambiental con el compromiso individual y colectivo, modificando tradicionales prácticas agropecuarias e incorporando políticas de compensación para los esfuerzos conservacionistas y de recuperación de escenarios por parte de los lugareños, pues de su sacrificio se benefician poblaciones aisladas.

Ha quedado evidente que recuperar escenarios naturales afectados por pérdida o contaminación, no es tarea fácil, cuando no hay claridad sobre el área real de los factores causantes del deterioro y, se recurre a la reforestación con especies introducidas, generando conflictos naturales que reducen la eficiencia, por lo que es importante hacer un análisis retrospectivo de la disposición de especies vegetales propias de la zona, así como reservar amplios corredores de protección, lo cual hace imperativo persuadir a lugareños a establecer áreas de reserva, compensándoles mediante el PSA.

Referencias

- Argueta C.L. (2005). *Propuesta de valoración económica del servicio ambiental de captación hídrica del bosque, microcuenca del río El Riachuelo, montaña Las Granadillas, Zacapa*. (Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Azqueta, D. (1994). *Valoración económica de la calidad ambiental*. España: McGraw-Hill.
- Báez, A.C., & Mendoza, O.L. (2005). *Formulación del plan de manejo ambiental para el humedal El Pantano, vereda Pantano, municipio de Girón*. (Trabajo de Grado Ingeniería Sanitaria y Ambiental). UPB-Bucaramanga.
- Castiblanco, C. (2003). *Alcances y limitaciones de la valoración económica de los bienes y servicios ambientales*. Instituto de Estudios Ambientales IDEA-UN. Medellín, Colombia. Recuperado de http://www.uninorte.edu.co/extensiones/ids/Ponencias/PONEN_CIA%20VALOR.pdf
- CDMB. (2008). *Plan de ordenamiento y manejo integral*. Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales. DMI Angula alta-humedal El Pantano-municipio Girón-Lebrija. Bucaramanga: CDMB.
- Cordero, C. (2008). Esquemas de pagos por servicios ambientales para la conservación de cuencas hidrográficas en el Ecuador. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 17(1), 54-66. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria - INIA. Recuperado de http://www.inia.es/gcontrec/pub/054-066-Esquemas_1208775450468.pdf

- Lambert, A. (2003, mayo). *Valoración económica de los humedales: un componente importante de las estrategias de gestión de los humedales a nivel de las cuencas fluviales*. Convención de Ramsar. Recuperado de www.aguaonline.com.br/materias.php?in=download_direita&id=3085
- Mantilla, E. (2008). *Informe de valoración de bienes y servicios ambientales: Escenario piloto El Rasgón*. Bucaramanga: CDMB.
- Mantilla, E., & Agudelo, R. (2009). *Ponencia: La valoración ambiental, herramienta imprescindible en los procesos de gestión y evaluación del desarrollo*. La Habana, Cuba. VII Convención sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- Mantilla, E., & Mantilla, K.Z. (2010). El desarrollo de la responsabilidad social y los problemas ambientales. *DIXI*, No.12. UCC.
- Montes, C. (2007). Del desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas. ONU. Cumbre para el Desarrollo Sostenible. *Ecosistemas*, 16(3) Naciones Unidas Centro de Información. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/540/54016301.pdf>
- Romero, J. (2001). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sajurjo, E. (2001). *Valoración económica de servicios ambientales prestados por ecosistemas*. Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/dgipea/descargas/pea-ri-2001-001.pdf>
- Wunder, S. (2006). *Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales*. Centro Internacional de Investigación Forestal. Recuperado de http://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42S.pdf

Esta obra se terminó de imprimir
en la Universidad Santo Tomás,
Seccional Bucaramanga.