



BIOPROSPECCIÓN PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR AGROPECUARIO DE COLOMBIA





BIOPROSPECCIÓN PARA EL DESARROLLO DEL SECTOR AGROPECUARIO DE COLOMBIA

EDITORES:

ALBA MARINA COTES PRADO
LUZ STELLA BARRERO MENESES
FERNANDO RODRÍGUEZ VILLAMIZAR
MARÍA VICTORIA ZULUAGA MOGOLLÓN
HÉCTOR ARÉVALO MARTÍNEZ

Bogotá D.C. - Colombia

Cotes Prado, Alba Marina; Barrero Meneses, Luz Stella; Rodríguez Villamizar, Fernando; Zuluaga Mogollón, María Victoria; Arévalo Martínez, Héctor / Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia. Bogotá (Cundinamarca): CORPOICA, 2012. 195 p.

Palabras Clave:

BIOPROSPECCIÓN, RECURSOS GENÉTICOS, BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMA, ESPECIES, COLOMBIA



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA -,
Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@corpoica.org.co
www.corpoica.org.co

ISBN: 978-958-740-130-1
CA: Convenio 069 de 2011
CUI: 1414
Primera edición: Diciembre de 2012
Tiraje: 100 ejemplares

Diseño y Diagramación: Jorge E. Guzmán Mira

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación recoge el análisis del proceso de estructuración del Programa Nacional de Agrobioprospección, el análisis de las capacidades tecnológicas para el desarrollo del programa y los proyectos piloto para su implementación. Estos avances se lograron en el marco del convenio 069 de 2011, establecido entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica, mediante el proyecto: “Bioprospección y Biotecnología para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia - Consolidación de un Programa Nacional”, en el que además de establecer las capacidades técnicas para el desarrollo del megaproyecto, se conformó la red de agrobioprospección para Colombia con aliados internacionales.

Corpoica agradece al Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural, por la financiación y apoyo en el desarrollo de esta iniciativa, al Ministerio de Hacienda, al Departamento Nacional de Planeación y al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias, por su decidida participación en el desarrollo del proyecto, al igual que a las entidades públicas y privadas, entre las que se encuentran Universidades, Centros de investigación, Empresas y gremios. Estas entidades se vincularon al proceso, mediante la participación en los talleres regionales de socialización con cerca de 1800 representantes, provenientes de las cinco regiones naturales y de 32 departamentos del país.

Los autores agradecen los aportes y contribuciones de los diversos actores del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, quienes a través de sus representantes, brindaron los componentes fundamentales para la elaboración, revisión, evaluación y edición del presente documento. Proceso en el que se contó con la participación de 19 entidades públicas y privadas, del orden nacional e internacional, las cuales nos permitimos relacionar a continuación.

Universidad Nacional de Colombia (sedes Bogotá, Medellín y Palmira); Universidad de los Andes; Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE; CorpoGen; Texas A&M University, Estados Unidos; CICESE, México - Departamento de Biotecnología; Research Council, Noruega; Pontificia Universidad Javeriana; United States Department of Agriculture; Universidad Militar Nueva Granada; Universidad de Medellín; Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour le Développement, – CIRAD, Francia; Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, Colombia; Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI; Wilson Associated International LLC, Estados Unidos; Boyce Thompson Institute For Plant Research, Estados Unidos; Biointropic; Instituto Nacional de biodiversidad INBIO Costa Rica, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica (C.I. Nataima, C.I. Tibaitatá, C.I. La Selva, C.I. La Libertad, C.I. La Suiza, CBB-Centro de Biotecnología y Bioindustria).

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	9
Definiciones de bioprospección	10
Algunos modelos internacionales de bioprospección	12
La bioprospección en Colombia	14
BIBLIOGRAFÍA	19
Capítulo 1	
ANÁLISIS DE PROCESOS DE BIOPROSPECCIÓN EN COLOMBIA	21
1.1. Contexto nacional	22
1.2. Contexto internacional	23
1.3. Factores de éxito y limitantes	26
1.4. Demanda del mercado para el sector agropecuario	27
1.4.1. Tendencias mundiales	27
1.4.2. Tendencias de consumo	29
BIBLIOGRAFÍA	31
Capítulo 2	
ANTECEDENTES DEL PROGRAMA NACIONAL EN AGROBIOPROSPECCIÓN	32
2.1. Introducción	32
2.2. Programa de Agrobioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia	33
2.2.1. Propósito	33
2.2.2. Meta	34
2.2.3. Justificación	34
2.2.3.1. Agrobiodiversidad	34
2.2.3.2. Cadenas Productivas del Sector Agropecuario de Colombia	40
2.2.4. Cadenas productivas vs. Áreas temáticas de la bioprospección	42
2.2.5. Parámetros de selección de los proyectos técnicos	46
BIBLIOGRAFÍA	49
Capítulo 3	
PROCESO DE ESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA NACIONAL DE AGROBIOPROSPECCIÓN	51
3.1. Antecedentes	51
3.2. RED Nacional e Internacional de Investigación en Agrobioprospección (REDIAB)	52
3.3. Validación del enfoque inicial del Megaprograma	54
3.3.1. Recomendaciones generales de los expertos	55
3.3.2. Recomendaciones del panel de expertos internacionales*	56
3.4. Implementación de la Metodología General Ajustada -MGA- de los proyectos de ganadería, cacao y solanáceas (uchuva y papa) del Programa de Agrobioprospección	61

3.5. Determinación de las capacidades por desarrollar en la ejecución del Programa en Agrobioprospección	62
3.6. Proceso de divulgación y socialización a nivel nacional del Programa en Agrobioprospección	66
3.6.1. Resultado de los talleres de socialización: Demandas, objetivos, actividades y productos	67
BIBLIOGRAFÍA	69

Capítulo 4

FORTALECIMIENTO DE UNA PLATAFORMA NACIONAL DE ALTA TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE AGROBIOPROSPECCIÓN	70
4.1. Introducción	70
4.2. Estado del arte	71
4.2.1. Entorno internacional: Estudio de caso – genómica vegetal en especies piloto y algunos microorganismos asociados	72
4.2.2. Antecedentes de capacidades técnicas de Colombia en bioprospección	76
4.3. Deficiencias de Colombia para abordar los estudios en Bioprospección	80
4.4. ¿Qué se propone con el proyecto de plataforma tecnológica?	83
4.4.1. Objetivo y justificación	84
4.4.2. Tendencias en nuevas tecnologías aplicables a bioprospección	84
4.4.3. Análisis de equipamiento / tecnologías para bioprospección en Colombia	86
4.4.4. Gestión de la capacidad científica y tecnológica de los investigadores en Bioprospección	91
4.4.5. Recomendaciones	92
4.4.5.1. Recurso humano	92
4.4.5.2. Recursos de infraestructura básica para las regiones	95
4.4.5.3. Laboratorios, casas de malla y ambientes protegidos (invernaderos)	96
BIBLIOGRAFÍA	97

Capítulo 5

PROYECTOS TÉCNICOS PARA IMPLEMENTACIÓN DE LA PRIMERA FASE DEL MEGAPROGRAMA DE BIOPROSPECCIÓN	100
5.1. Proyecto piloto: producción de carne y leche bovina con calidad nutracéutica y organoléptica para el mercado nacional e internacional	101
5.1.1. Ganadería de carne	101
5.1.1.1. Demanda	101
5.1.1.2. Objetivo	101
5.1.1.3. Objetivos específicos	101
5.1.1.4. Actividades	102
5.1.1.5. Productos esperados	102
5.1.2. Ganadería de leche	103

5.1.2.1. Demanda	103
5.1.2.2. Objetivo	103
5.1.2.3. Objetivos específicos	104
5.1.2.4. Actividades	104
5.1.2.5. Productos esperados	105
5.1.3. Mercado	105
5.1.3.1. Justificación	108
5.1.4. Desarrollo de criterios de selección	115
5.1.4.1. Avance en Diseño	115
5.1.4.2. Sensación de apoyo departamental	116
5.1.4.3. Riesgo Moderado	118
5.1.4.4. Fortalecimiento SIN	118
5.1.4.5. Efecto Demostrativo	118
5.2. Proyecto piloto: desarrollo de estrategias para el control fitosanitario y agregación de valor en cultivos de solanáceas	119
5.2.1. Generación de valor para el desarrollo competitivo del cultivo de la uchuva como modelo de bioprospección de frutas en Colombia	120
5.2.1.1. Demanda	120
5.2.1.2. Objetivo (primeros 5 años)	120
5.2.1.3. Objetivos específicos:	121
5.2.1.4. Actividades (primeros 5 años)	121
5.2.1.5. Productos esperados	121
5.2.1.6. Mercado	122
5.2.1.7. Justificación	125
5.2.1.8. Enfoque de bioprospección en uchuva	128
5.2.1.8.1. Desarrollo de criterios de selección	130
5.2.1.8.2. Avance en diseño	130
5.2.1.8.3. Sensación de apoyo Departamental	131
5.2.1.8.4. Riesgo Moderado	133
5.2.1.8.5. Sensación de TIREc	134
5.2.1.8.6. Fortalecimiento SIN	135
5.2.1.8.7. Efecto Demostrativo	135
5.2.2. Caracterización y aprovechamiento de los recursos biodiversos de papa y sus organismos asociados, para la producción sostenible del cultivo para la soberanía y seguridad alimentaria del país	136
5.2.2.1. Objetivo	136
5.2.2.2. Objetivos específicos	136
5.2.2.3. Actividades:	137
5.2.2.4. Productos esperados	138
5.2.2.5. Mercado	138
5.2.2.6. Justificación	143
5.2.2.7. Enfoque de Bioprospección en papa	146
5.2.2.7.1. Desarrollo de criterios de selección del cultivo de papa	156

5.2.2.7.2. Avance en el Diseño del Macroproyecto	156
5.2.2.7.3. Sensación de apoyo Departamental	157
5.2.2.7.4. Riesgo Moderado	159
5.2.2.7.5. Sensación de TIREc (Tasa interna de retorno económico)	160
5.2.2.7.6. Fortalecimiento del Sistema de Investigación Nacional (SIN)	161
5.2.2.7.7. Efecto Demostrativo	161
5.3 Proyecto piloto: bioprospección de la agrobiodiversidad de <i>Theobroma</i> spp. y microorganismos asociados para su aprovechamiento en el mejoramiento de la calidad, resistencia a enfermedades y otros atributos de valor	162
5.3.1. Demanda	162
5.3.2. Objetivo (primeros 5 años)	162
5.3.3. Objetivos específicos:	163
5.3.4. Productos esperados (primeros 5 años)	163
5.3.5. Mercado	163
5.3.6. Justificación	165
5.3.7. Enfoque de bioprospección en cacao	170
5.3.8. Desarrollo de criterios de selección	174
5.3.8.1. Avance en diseño	174
5.3.8.2. Sensación de apoyo departamental	175
5.3.8.3. Riesgo Moderado	177
5.3.8.4. Sensación de TIREc	178
5.3.8.5. Fortalecimiento SIN (Sistema de Innovación Nacional)	179
5.3.8.6. Efecto Demostrativo	180
BIBLIOGRAFÍA	181
Anexo 1. Autores y su filiación	192

INTRODUCCIÓN

Luz Marina Melgarejo ^{1*}

Colombia es uno de los 10 países megadiversos del planeta; presenta diversidad de ecosistemas continentales y marinos, posición geoestratégica única, con rutas de acceso a los mercados latinos, de Estados Unidos, el Caribe, Europa, China, Japón, India, entre otros. La diversidad de los recursos biológico-genéticos que ostenta Colombia le confiere algunas ventajas competitivas en el ámbito nacional e internacional. En el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), el cual entró en vigor en Diciembre de 1993, se plantearon los objetivos para la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Colombia se suscribió a este convenio mediante la política nacional de biodiversidad, estableció la necesidad de acciones como la educación, la participación ciudadana, el desarrollo legislativo e institucional y la valoración en los temas asociados a la biodiversidad. En concordancia con los compromisos adquiridos al suscribir el CDB, los países miembros del Acuerdo de Cartagena o Pacto Andino, adoptaron un régimen legal sobre acceso a recursos genéticos: la Decisión 391 de 1996.

Éste destaca que las comunidades indígenas, afroamericanas y campesinas que viven en estrecha interdependencia con los recursos biológico-genéticos, han contribuido a su conservación y deben participar de los beneficios que se deriven para su desarrollo económico y social (Melgarejo *et al.*, 2002a, 2002b). Para el año 2010 se adoptó el protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y la participación justa y equitativa de los beneficios que provengan de la utilización de la diversidad

* Universidad Nacional de Colombia. Immeltgarejom@unal.edu.co. Ver información de autores en el Anexo 1

biológica. El protocolo impulsa el tercer objetivo del convenio, ya que proporciona una base sólida para una mayor certeza y transparencia jurídica tanto para los proveedores como para los usuarios de recursos genéticos (Secretaría del convenio sobre la diversidad biológica, 2011); así se han venido desarrollando estrategias para acceder, conocer y utilizar los recursos biológico-genéticos.

El ser humano a través del tiempo ha buscado conocer los recursos a su alrededor, utilizarlos o aplicarlos en el campo de la alimentación, salud, cosmética y otros; mediante el desarrollo de industrias como la alimentaria, farmacéutica, botánica medicinal, protección de cultivos. Se calcula que una cuarta parte de los productos farmacéuticos son derivados de plantas y que en los países no líderes tecnológicos pero ricos en biodiversidad, un alto porcentaje de la población depende para sus cuidados básicos de la medicina botánica (Moran *et al.*, 2001). Esto implica que se debe desarrollar el conocimiento y los procesos tecnológicos necesarios para obtener y mantener la materia prima en cantidad suficiente y de forma sostenible; así mismo, la necesidad de proteger y conservar el medio ambiente y las comunidades que allí habitan.

Existen varias definiciones de bioprospección, dependientes de las aproximaciones o actores involucrados (investigadores, comunidades, empresas, gobiernos, entre otros) del país y de su contexto, del mercado del grado de desarrollo tecnológico (países líderes tecnológicos vs. países no líderes tecnológicos pero ricos en biodiversidad). Algunas son restrictivas a actividades como buscar sistemáticamente genes, compuestos químicos, proteínas y otros metabolitos que posean valor económico actual o potencial; otras son de mayor perspectiva e incluyen el conocimiento tradicional, la caracterización de los recursos biológico-genéticos (genes, metabolitos primarios y secundarios), la determinación y la evaluación de la acción biológica de sus principios activos, el desarrollo de productos, su comercialización, la implementación de planes de conservación que permitan su uso sostenible, además de la participación de actores en las diferentes etapas del proceso, entre otros.

Definiciones de bioprospección

- Investigación realizada para identificar especies, variedades, genes y productos con usos actuales o potenciales por parte de la humanidad. Desempeña un papel fundamental para el uso y protección racional de la biodiversidad (Sittenfeld y Gámez, 1993).
- Búsqueda de recursos químicos y genéticos de valor comercial a través de la investigación y análisis de la diversidad biológica y del conocimiento tradicional indígena (RAFI, 1993).
- Búsqueda de información a partir de especies biológicas para su uso posterior en procesos de producción en diversos sectores. Ejemplo de esa información es la contenida en el material genético de todos los seres vivos (prospección

- genética), en los compuestos químicos que producen (prospección química) o en el conocimiento tradicional (Alatorre, 1995).
- Búsqueda intensa de metabolitos secundarios novedosos a partir de fuentes naturales, tradicionalmente de microorganismos, pero también se extiende a plantas y animales (Chapela, 1996).
 - Medio para compensar a aquellos países por el uso de sus recursos genéticos para producir componentes naturales para las industrias químicas y farmacéuticas, principalmente (Brush, 1999).
 - Búsqueda de materia viva con propiedades medicinales, industriales, farmacológicas y biotecnológicas, con marcadas implicaciones sociales, culturales, económicas, jurídicas y políticas (Carrizosa, 2002).
 - Temática y trabajo colectivo orientados a la búsqueda, conocimiento y selección de organismos con uso actual o potencial en salud, alimentación, industria y medio ambiente, entre otros y su aprovechamiento en procesos productivos a escala industrial (Melgarejo *et al.*, 2002). Se perfila como un proceso que involucra tres etapas o ejes: conocer y caracterizar el recurso biológico-genético, transformarlo en un producto (para uso en medicina, alimentación, agricultura u otras) y comercializarlo (Melgarejo, 2003).
 - Actividad de naturaleza exploratoria, no destructiva, en la que a través de la investigación científica, se pretende la obtención de información útil derivada de la colecta de cantidades mínimas de material biológico, para lograr una aplicación de uso en medicina, agricultura e industria (Setzer *et al.* 2003).
 - Búsqueda sistemática de genes, de compuestos químicos, proteínas y otros productos que posean un valor económico actual o potencial y que se encuentran en los componentes de la diversidad biológica, buscando darles un potencial para el desarrollo de productos (Castree, 2003).
 - Caracterización del material biológico en sus diferentes componentes, proyección para proteger los intereses de propiedad intelectual y desarrollo eventual de un proceso de comercialización de nuevos productos, los cuales pueden incluir la modificación de la estructura química para incrementar su eficacia (Bull, 2004).
 - Búsqueda sistemática para el desarrollo de nuevas fuentes biológicas, las cuales pueden tener valor comercial. Incluye la totalidad de organismos, genes, compuestos químicos, extractos, y otros productos de la naturaleza. Se incluye el uso sostenible de los recursos biológicos a través de la biotecnología y el desarrollo científico y socioeconómico de los países fuente y de las comunidades locales (Quezada, 2007).

En general, las diferentes definiciones o apreciaciones de la bioprospección implican investigación de la biodiversidad y sus productos, cuyo fin último es la comercialización. También las actividades comerciales de bioprospección asumen diferentes aproximaciones dependiendo del blanco de mercado, el contexto del país y los modelos de negocios (Melgarejo, 2003; Duarte *et al.*, 2006; Duarte y Velho, 2008; Duarte y Velho, 2009).

En la bioprospección se puede presentar la interacción entre tipos de conocimiento, especialmente los tradicionales de las comunidades locales e indígenas, algunas instituciones de investigación, ONGs de los países ricos en biodiversidad y el conocimiento científico o tecnológico de los sectores académicos e investigativos. La bioprospección se puede dar con fines propios o al servicio de empresas transformadoras, principalmente la industria farmacéutica multinacional e institutos de investigación y la de agroinsumos de los países líderes tecnológicos, que poseen poderes económico, político y de negociación. Esta confluencia se caracteriza por motivaciones e intereses divergentes entre actores con poderes muy disímiles, lo cual plantea la necesidad de establecer marcos normativos que contribuyan a regular dicha interacción (Duarte y Velho, 2008; Hill *et al.*, 2005 y Duarte *et al.*, 2006).

La bioprospección se ha enfocado desde una óptica amplia, que incluye la búsqueda y caracterización de genes, metabolitos secundarios o primarios, la obtención de productos a pequeña o mediana escala con potencial comercial y la comercialización, especialmente regional y nacional. El proceso de bioprospección para aprovechamiento de la biodiversidad se realiza desde cualquiera de sus etapas: caracterizar, transformar en producto y comercializar. A nivel internacional se establece primordialmente la bioprospección relacionada con metabolitos secundarios, en todos los niveles de organismos (plantas, animales, microorganismos) y de ecosistemas (marinos y continentales), debido al impacto económico generado por la industria farmacéutica; para dejar la caracterización de genomas y componentes biológicos para diferentes industrias de la bioprospección (protección de cultivos, cosmética, salud, biotecnología), mediante herramientas tipo ómicas (genómica, transcriptómica, metabolómica, proteómica, entre otras).

Algunos modelos internacionales de bioprospección

En relación con la investigación y el aprovechamiento de la biodiversidad en países de la comunidad andina, Roca (2004) describe que la bioprospección vegetal, animal y de microorganismos, está siendo impactada por la biotecnología moderna, para la búsqueda de nuevas fuentes de componentes para el desarrollo de biofármacos más efectivos (por ejemplo, vacunas de segunda generación: virus atenuados, y de tercera generación: proteínas virales); para la producción de proteínas de interés terapéutico (insulina, interferones); para el desarrollo de cosméticos; para la producción de métodos más efectivos en el diagnóstico de las enfermedades, para mejorar la productividad y el manejo de los cultivos agrícolas (mejoramiento genético asistido por marcadores) y finalmente, para el uso de la información genómica en la aplicación de la medicina molecular individualizada. En este contexto, la bioprospección es el punto de encuentro entre la biotecnología y la biodiversidad, por lo que constituye el foco principal de acción de la biotecnología moderna.

En la literatura se han documentado algunos modelos internacionales de bioprospección que han servido como punto de comparación para Colombia, los cuales resumen algunas de las ventajas y desventajas de países ricos en biodiversidad. Carrizosa (2002) concluyó que los proyectos de bioprospección no están distribuyendo los beneficios derivados de la biodiversidad de manera justa y equitativa. Así mismo, los objetivos de estos proyectos en relación con la conservación y uso sostenible de la biodiversidad son poco significativos. El análisis de los modelos “Universidad de Laussane (Suiza) en Zimbabwe”, “CGIB de Chile, Argentina y México”, y “GCIB de Surinam”, sugieren que los actores de los países ricos en biodiversidad, no son tratados como verdaderos socios por parte de los bioprospectores de los países industrializados o líderes en tecnología. Estos modelos muestran que mientras las actividades de bioprospección que tienen lugar en los países ricos en biodiversidad se limitan a asegurar que exista una fuente constante de muestras, las actividades que le agregan valor al producto y proporcionan una inversión significativa de capital en investigación, se realizan en los países líderes en biotecnología.

Por otra parte, el proyecto del “Instituto Nacional de Cáncer en Sarawak (Malasia)” y el proyecto “INBio y compañías farmacéuticas y biotecnológicas multinacionales en Costa Rica”, sugieren que parte de la inversión del capital y construcción de capacidad local puede tener lugar en los países ricos en biodiversidad, si se cuenta con los incentivos económicos adecuados, para establecer alianzas estratégicas con los bioprospectores. En este escenario, la estrategia de bioprospección utilizada por INBio que se fundamenta en la construcción de capacidad local, tiene mayor probabilidad de éxito a largo plazo que la asociación comercial establecida en Sarawak, la cual concluirá eventualmente si no se diversifica hacia el aprovechamiento de otras especies promisorias. INBio es el clásico ejemplo de cómo una organización puede obtener beneficios relativamente importantes para la conservación de la biodiversidad, sin la necesidad de contar con la ayuda de leyes que regulen el acceso a los recursos genéticos.

Caso contrario ocurre con la relación contractual en un país con leyes que regulan el acceso a los recursos genéticos como Filipinas, lo cual sugiere que la inversión en la construcción de la capacidad local se puede obtener mediante asociaciones como la realizada entre la Universidad de Utah y la Universidad de Filipinas. Sin embargo, cualquier beneficio que obtenga la Universidad de Filipinas corresponde a un arreglo contractual de tipo coyuntural, más que a una estrategia del país que se enfoque en el desarrollo de capacidad local para la ejecución de proyectos de bioprospección. Adicionalmente, el modelo de Filipinas también simboliza la soberanía que las leyes de acceso les otorgan a países ricos en biodiversidad y la oportunidad de éstos para dirigir el proceso de negociación y la distribución justa y equitativa de beneficios según su perspectiva local.

A pesar de iniciativas locales de construcción de capacidad, en cualquier modelo de bioprospección ejecutado hasta el momento en países ricos en biodiversidad,

la parte más significativa de inversión de capital y el mercadeo de productos se ha realizado en los laboratorios de las industrias localizadas en los países líderes en tecnología (Carrizosa, 2002). De ahí que aunque se observen ventajas y desventajas, es importante seguir trabajando en la construcción de la capacidad local, en relación con propiedad intelectual y desarrollo de estrategias de negociación de los países ricos en biodiversidad, para lograr cerrar la brecha que todavía separa a estos con los países líderes en tecnología. No resolver el tema de acceso a los recursos biológico-genéticos es obstaculizar la investigación de la diversidad biológica y cultural e impedir el cumplimiento de por lo menos uno de los objetivos del Convenio sobre la Diversidad Biológica: la distribución justa y equitativa de beneficios derivados de la utilización de los recursos (Nemogá, 2010 a y b).

La bioprospección en Colombia

Colombia a través del CONPES de Biotecnología 3697 de junio de 2011, definió la bioprospección como la “Exploración sistemática y sostenible de la biodiversidad para identificar y obtener nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas, microorganismos y otros productos que tienen potencial de ser aprovechados comercialmente”. Sin embargo, no puede dedicarse solamente a proveer materia prima o realizar la mera caracterización de compuestos, genes y otros productos con potencial comercial, sino que requiere el fortalecimiento y desarrollo de las cadenas de valor para obtener productos que se puedan posicionar en las diferentes industrias relacionadas con la bioprospección (agroalimentaria, farmacéutica, botánica medicinal, protección de cultivos, cosmética, otras). Adicionalmente, Colombia debe proteger mediante derechos de propiedad intelectual los componentes caracterizados, los productos obtenidos y los nuevos desarrollos derivados del recurso biológico-genético objeto de estudio. De esta manera se obtendrán diversos beneficios para el país, como por ejemplo, la creación y fortalecimiento de industrias que conllevaría a posibilidades de generación de empleo.

Duarte y colaboradores (2006), en su revisión sobre “La bioprospección como mecanismo de cooperación para la construcción de capacidades endógenas en ciencia y tecnología y análisis de las capacidades de Colombia para adelantar procesos de bioprospección”, reportan que las principales motivaciones e intereses de los países ricos en biodiversidad son: i) la posibilidad que el centro de investigación participante y el producto nacional involucrado en el proceso, obtengan reconocimiento a nivel mundial; ii) el fortalecimiento de la infraestructura de investigación (equipos y laboratorios); iii) las posibilidades de capacitación del recurso humano; iv) el fortalecimiento de las capacidades de negociación y v) el acceso al conocimiento, software y técnicas complementarias especializadas, a través de procesos de transferencia de tecnología, mientras que las motivaciones de los países líderes en tecnología son de carácter comercial.

En Colombia se tiene información y reportes de literatura en artículos científicos y libros, sobre algunas etapas del proceso de la bioprospección, realizados por varias entidades en alianza con el sector productivo, con generación de productos que han dado rentabilidad económica, que han generado valor agregado al recurso biológico-genético, a los productos primarios y subproductos que han tenido éxito hasta llevar productos al mercado. Como se verá más adelante, se tienen varios ejemplos a partir de especies cultivadas propias de nuestra diversidad y foráneas, todas tienen en común que se ha hecho investigación básica y aplicada con algún desarrollo agroindustrial y en varios casos con el apoyo del sector productivo (ya sean empresas o gremios organizados).

En caso de lograr la comercialización de productos, se esperan beneficios económicos a través del pago de regalías y la posibilidad de fortalecer las capacidades endógenas nacionales en ciencia y tecnología y generar nuevas oportunidades de empleo. De otra parte, las principales motivaciones de los países líderes en tecnología están relacionadas con: el aumento de las ventas de productos con valor agregado; la diversificación de productos de base, lo cual le suministra a la empresa una ventaja competitiva; el acceso a agroecosistemas diferentes y propios de las zonas tropicales y la posibilidad de obtener derechos de propiedad intelectual sobre los productos obtenidos. Se espera que Colombia logre el marco conceptual para un Programa Nacional en Bioprospección, aunque después de más de una década de haber entrado en vigor el CDB, aún no se han generado los beneficios económicos esperados para el fortalecimiento de nuestras capacidades en ciencia y tecnología (Duarte *et al.*, y colaboradores, 2006).

Duarte *et al.*, (2006) y el CONPES de Biotecnología 3697 (2011) referencian las regiones con mayor potencial de biodiversidad que pueden ser aprovechadas para adelantar bioprospección, la identificación de áreas temáticas que se deben fortalecer o crear, el fortalecimiento de grupos de investigación, la dotación de infraestructura, la capacitación del recurso humano y la búsqueda de financiación externa. La actual capacidad científica y tecnológica de Colombia para abordar procesos de bioprospección, está representada en varios grupos de investigación, lo cual significa que existe una capacidad que debe ser fortalecida tanto en lo regional como en lo nacional (Melgarejo *et al.*, 2002 a; Duarte *et al.*, 2006). Este fortalecimiento puede implementarse mediante una estrategia de adopción de medidas específicas de política de ciencia y tecnología.

Antes del año 2002, se realizaban principalmente colectas, estudios taxonómicos para inventarios de la biodiversidad y caracterización química de algunas moléculas. Posteriormente se incorporó la determinación de actividades biológicas sin tener en cuenta su potencial comercial, mientras que hoy se tiene presente el potencial para su aprovechamiento comercial y se han generado algunos productos a escala piloto, pero que escasamente tocan aspectos relacionados con propiedad intelectual. Varios grupos han desarrollado capacidades principalmente en genómica y bioinformática, seguidos

de metabolómica, transcriptómica y proteómica; de igual manera se observan algunas capacidades en desarrollo de productos que tienen potencial en diferentes industrias. De igual forma, se ha dado apoyo financiero a varios centros de excelencia: 1) en el año 2004, se financió la iniciativa “Estudio integral de especies aromáticas y medicinales tropicales promisorias para el desarrollo competitivo y sostenible de la agroindustria de esencias, extractos y derivados naturales en Colombia” del Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales (CENIVAM); 2) en el año 2007, se patrocinó el proyecto “Conformación de una plataforma en metagenómica y bioinformática para la caracterización y el aprovechamiento de recursos genéticos de ambientes extremos”, del Centro Colombiano de Genómica y Bioinformática de Ambientes Extremos (GeBiX). Así mismo, a partir del año 2012 se financia la iniciativa para el establecimiento de redes de conocimiento: 1) Red de bioprospección y desarrollo de ingredientes naturales para las industrias cosmética, farmacéutica y de productos de aseo, con base en la biodiversidad colombiana. 2) Red Nacional para la Bioprospección de Frutas Tropicales (RIFRUTBIO). En dichas redes se realizan alianzas entre grupos nacionales e internacionales.

Caraballo (2011), hizo una revisión de los beneficios de las actividades de bioprospección realizadas por los centros de excelencia y un instituto de investigación en Colombia, concluyendo que: i) en ninguno de los casos comunidades indígenas, locales, ni afrodescendientes fueron incluidas; ii) se evidenció la necesidad de establecer más alianzas con el fin de desarrollar las actividades de bioprospección y generar mayores beneficios; y iii) los beneficios obtenidos no fueron monetarios sino de formación de recurso humano, infraestructura y fortalecimiento de la plataforma tecnológica. Lo anterior indica que aunque la bioprospección es una alternativa de crecimiento y desarrollo para el país, se requiere de un alerta para que el gobierno, los tomadores de decisiones en políticas de ciencia y tecnología, los centros de excelencia, los centros de investigación, las universidades o las redes de conocimiento, tengan en cuenta sectores de la sociedad poco favorecidos, la asociatividad con el sector empresarial, el fortalecimiento en la dinámica de trabajo con grupos de investigación nacional e internacional, además de las consecuencias que se generan en materia económica, jurídica, social, educativa y política.

La bioprospección representa para Colombia una alternativa de desarrollo económico, generación de empleo, conservación de la biodiversidad, formación de recurso humano altamente calificado, organización y alianza entre grupos de investigación nacionales e internacionales, fortalecimiento de la plataforma tecnológica del país, y fortalecimiento de cadenas productivas asociadas a algunos sectores industriales (Melgarejo *et al.*, 2002a, 2002b; Duarte y Velho, 2009). En este contexto, se destacan las iniciativas de generación de las Agendas Prospectivas de Investigación y Desarrollo para las cadenas productivas adjuntas al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y el Primer Programa Nacional de Bioprospección para el Sector Agropecuario: “Uso sostenible de la biodiversidad para el desarrollo de las cadenas de

valor del sector agropecuario de Colombia a través de la consolidación de un Programa Nacional de Bioprospección”. Estas iniciativas están coordinadas por CORPOICA y cuentan con la colaboración de diferentes instituciones y entidades del país.

Estas iniciativas de bioprospección y en los contratos de negociación que se deriven de ellas, deberá tenerse en cuenta: quién o quiénes realizarán las actividades de colecta, la caracterización de los diferentes componentes del recurso asociado y el desarrollo de productos. Adicionalmente, deberán incluirse nuevos desarrollos y pruebas posteriores, así como la obtención de otras sustancias o componentes derivados del descubrimiento inicial o del recurso biológico de partida cuando aplique. Se deberá contar también con mecanismos claros de protección de derechos de propiedad intelectual, planes de producción a escala piloto e industrial y comercialización del producto, además del cálculo del valor económico agregado, las posibles regalías y la distribución de los beneficios derivados del desarrollo tecnológico para los distintos actores, incluidas las comunidades, entre otros.

Aunque la bioprospección puede ser una inversión de alto riesgo, debido a que no necesariamente todo lo que se piense bioprospectar tendrá éxito en el mercado, es muy posible que si éste se obtiene, los beneficios económicos del país podrían retornar después de 5 a 20 años. Sin embargo, en el corto plazo se obtendrán beneficios no monetarios como el fortalecimiento del sistema de ciencia y tecnología del país. En referencia a la bioprospección enfocada al sector agropecuario colombiano, se encuentra que es una de las más desarrolladas en el país (Base de datos Gruplac-COLCIENCIAS), similar a lo reportado por Chaparro y Vanegas (2010) en “La investigación sobre recursos biológicos y genéticos en el país: centros de investigación en agricultura”.

En Colombia, para avanzar en actividades de bioprospección se requiere del trabajo conjunto, que podría ser a manera de redes de conocimiento u otras estrategias entre entidades nacionales e internacionales, de los sectores académico, empresarial, comunitario y gubernamental, entre otros. Desde el quehacer gubernamental se requiere de un adecuado marco regulatorio jurídico (derechos de propiedad intelectual, acceso a recursos biológico-genéticos, capacidad de negociación), económico (valoración económica, capacidad de negociación), social (comunidades involucradas, asociatividad), ambiental (conservación de los ecosistemas, beneficio-costos), y educativo que articule a las ciencias e ingenierías y capacitación de recurso humano altamente calificado y que incluya la captación de personas con iniciativa y alta capacidad de creatividad e innovación.

La biodiversidad colombiana ha sido del interés de algunas empresas extranjeras que han buscado aprovechar de forma temprana la normatividad de 1997, con el fin de tratar de obtener los permisos respectivos para adelantar prácticas de bioprospección en todo el territorio nacional (Duarte y Velho, 2008). Dichas empresas ofrecieron a cambio algunos incentivos no monetarios representados en dotación de laboratorios,

publicaciones compartidas y entrenamiento de personal técnico colombiano, lo cual no correspondía con el valor potencial de la biodiversidad a explorar.

Las restricciones para permisos de colecta, investigación y acceso a recursos genéticos han impedido contratos de bioprospección entre Colombia y empresas extranjeras; así como el desarrollo de actividades de colecta sistemática, incluso por los investigadores colombianos, para identificar y obtener nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas, microorganismos y otros productos de la biodiversidad que tienen potencial de ser aprovechados comercialmente. Sin embargo, aunque las restricciones de acceso al recurso biológico-genético han sido una desventaja para el país, al mismo tiempo han posibilitado que grupos colombianos sean quienes estudien la biodiversidad y la prospecten, creando de esa manera capacidades técnicas y ventajas para futuras negociaciones con países líderes en tecnología.

Las experiencias de bioprospección en Colombia han permitido el fortalecimiento de alianzas nacionales entre grupos colombianos de diferentes regiones del país (Melgarejo *et al.*, 2002 a; Duarte y Velho 2008), lo que ha dado oportunidad y beneficios para la nación y sus regiones. A dichas alianzas se ha venido integrando el sector productivo nacional representado en empresas, asociaciones de productores y cooperativas. Algunos grupos de investigación vienen trabajando en alianza con grupos internacionales para realizar publicaciones conjuntas y formar recursos humanos altamente calificados.

BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre G (1995) Bioprospección, ¿una herramienta para el manejo sostenible de los recursos naturales? Grupo de Estudios Ambientales. México. [en línea]. [Fecha de consulta: agosto de 2012]. Disponible en: <http://base.d-p-h.info/es/fiches/premierdph/fiche-premierdph-1858.html>
- Brush S (1999) Bioprospecting the Public Domain. En: *Cultural Anthropology*. 14(4), 535-555.
- Bull A (2004) *Microbial Diversity and Bioprospecting*. Washington, D.C.: American Society Microbiology Press. 524pp.
- Caraballo AM (2011) Evaluación de los beneficios de las actividades de bioprospección realizadas por tres centros de investigación en Colombia. Bogotá, 112 pp. Tesis de Maestría en Biociencias y Derecho. Facultad de Derecho, Ciencias Políticas y Sociales. Instituto de Genética. Universidad Nacional de Colombia.
- Carrizosa S (2002) Análisis comparativo de modelos internacionales de bioprospección: implicaciones para la conservación de la biodiversidad y la distribución equitativa de beneficios. p 171-192. En: Melgarejo LM, Sánchez J, Chaparro A, Newmark F, Santos M, Burbano C, Reyes C (Eds). *Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá: Serie de Documentos Generales INVEMAR 10(334pp).
- Castree N (2003) Bioprospecting: from theory to practice (and back again). *Transactions of the Institute of British Geographers*. 28(1):35-55.
- Chaparro A, Vanegas P (2010) La investigación sobre recursos biológicos y genéticos en el país: centros de investigación en agricultura. P 42-52. En: Nemogá G, Avila L, Blanco J, Chaparro A, Jimenez O, Lizarazo O, Pinto L, Rojas D, Vallejo F, Vanegas P. *La investigación sobre biodiversidad en Colombia: Propuesta de ajustes al régimen de acceso a recursos genéticos y productos derivados, y a la Decisión Andina 391 de 1996*. Universidad Nacional de Colombia. 250pp.
- Chapela I (1996) La bioprospección en la era de la información: un análisis crítico de las iniciativas de conservación asociadas con el descubrimiento de nuevos fármacos. En: Feinsilver J. *Biodiversidad, biotecnología y desarrollo sostenible en salud y agricultura: conexiones emergentes*. Organización Panamericana de la Salud. Publicación científica 560. Washington D.C., 248pp.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación (2011) *Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad*. República de Colombia Conpes de Biotecnología 3697. 36 pp.
- Duarte O, Velho L, Roa-Atkinson A (2006) La Bioprospección como mecanismo de cooperación para la construcción de capacidades endógenas en ciencia y tecnología y análisis de las capacidades de Colombia para adelantar procesos de Bioprospección. En: VI Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia –ESOCITE. Bogotá, Colombia. 26 pp.
- Duarte O, Velho L (2008) Análisis del marco legal en Colombia para la implementación de prácticas de bioprospección. En: *Acta Biológica Colombiana*. 13(2):103-122.
- Duarte O, Velho L (2009) Capacidades científicas y tecnológicas de Colombia para adelantar procesos de bioprospección En: *Revista CTS*. 12(4):55-68.

- Hill D, Fasham M, Matthew G, Tucker G, Shewry M, Saw P (Eds) (2005) Handbook of Biodiversity Methods: Survey, Evaluation and Monitoring. Cambridge University Press. New York. 544 pp.
- Melgarejo LM, Sánchez J, Chaparro A, Newmark F, Santos M, Burbano C, Reyes C (Eds). (2002a) Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Invemar. 334pp.
- Melgarejo LM, Sánchez J, Reyes C, Newmark F, Santos M (2002b) Plan nacional en Bioprospección continental y marina (propuesta técnica). Universidad Nacional de Colombia, Invemar. 122pp.
- Melgarejo LM (2003) Bioprospección: plan nacional y aproximación al estado actual en Colombia. En: Acta Biológica Colombiana. 8(2):73-86.
- Moran K, King S, Carlson Th (2011) Biodiversity Prospecting Lessons and Prospects. En: Annual Review of Anthropology. No 30. pp. 505-526.
- Nemogá G, Rojas D, Vallejo F (2010a) Problemas del Régimen de Acceso (Decisión Andina 391 de 1996). P 100-119. En: Nemogá G, Ávila L, Blanco J, Chaparro A, Jimenez O, Lizarazo O, Pinto L, Rojas D, Vallejo F, Vanegas P. La investigación sobre biodiversidad en Colombia: propuesta de ajustes al régimen de acceso a recursos genéticos y productos derivados, y a la Decisión Andina 391 de 1996. Universidad Nacional de Colombia. 250pp.
- Nemogá G (2010b) Introducción. P15-17. En: Nemogá G, Ávila L, Blanco J, Chaparro A, Jimenez O, Lizarazo O, Pinto L, Rojas D, Vallejo F, Vanegas P. La investigación sobre biodiversidad en Colombia: propuesta de ajustes al régimen de acceso a recursos genéticos y productos derivados, y a la decisión andina 391 de 1996. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 250pp.
- Quezada F (2007) Status and potential of commercial bioprospecting activities in Latin America and the Caribbean. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) - Serie Medio Ambiente y Desarrollo Santiago, Chile. No 132. 68pp.
- Rural Advancement Foundation International (RAFI) (1993) Biotechnology company will sell bio-engineered human proteins to infant formula manufacturers. RAFI communiqué. 4pp.
- Roca W (2004) Tendencias en el desarrollo de capacidades biotecnológicas e institucionales para el aprovechamiento de la biodiversidad en los países de la comunidad Andina. Informe preparado para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Corporación Andina de Fomento (CAF). 270pp.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2011) Protocolo de Nagoya sobre acceso a los recursos genéticos y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de su utilización al convenio sobre diversidad biológica. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. Montreal, Canadá. 26pp.
- Setzer MC, Moriarty DM, Lawton RO, Setzer WN, Gentry GA, Haber WA (2003) Phytomedicinal potential of tropical cloud forest plants from Monteverde, Costa Rica. En: Rev. Biol. Trop. 51(3-4):647- 674.
- Sittenfeld A, Gámez R (1993) Biodiversity prospecting by INBio. En: Reid WV, Laird S A, Meyer C A, Gámez R, Sittenfeld A, Janzen DH (Eds). Biodiversity prospecting: using genetic resources for sustainable development. Washington. World Resources. p 69-98.

CAPÍTULO

1

ANÁLISIS DE PROCESOS
DE BIOPROSPECCIÓN EN
COLOMBIA

Carolina Cruz Martínez ^{2*}, Luz Stella Barrero ², Fernando Rodríguez², Erika Andrea Alarcón ², Lorena Mestra ², Héctor Arévalo ², María Victoria Zuluaga ², Claudia Betancur ²⁵, Xavier Fargetton², Alba Marina Cotes ²

La bioprospección debe entenderse como una inversión de fondo que genera beneficios relacionados con el propósito de cada programa, la información generada y la capacidad desarrollada en infraestructura y talento humano son la materia prima para procesos de investigación y desarrollo posteriores. En el mediano plazo, es posible fortalecer las industrias en sectores como los de producción de semillas, agroalimentario, de bioinsumos, de productos para la alimentación animal y en las áreas de salud humana y genética animal, es decir se pueden dar pasos sólidos hacia una bioeconomía. La bioprospección viene ligada al contexto del país desde el año 2011, al ser considerada como una de las locomotoras que jalona el desarrollo del sector agropecuario colombiano, como lo ha sido el café desde principios del siglo XX. Varios de los problemas sociales que ha padecido Colombia en el transcurso de los últimos cincuenta años, han estado relacionados con la falta de alternativas económicas sólidas y sostenibles en el sector rural.

La bioprospección puede contribuir en la identificación de los componentes de la agrobiodiversidad para aportar soluciones en temas como seguridad alimentaria y generación de empleo con calidad en el sector rural. Un ejemplo de esto se relaciona con el uso de la diversidad de especies nativas de cacao en Colombia, que puede contribuir al mejoramiento de la productividad y la calidad de los cultivos y de sus subproductos reconocidos a nivel internacional. La promoción de la diversidad de cacaos nativos podría favorecer la sostenibilidad del cultivo en términos ambientales y de producción en distintas ecorregiones del país, al suministrar la materia prima para el desarrollo de esta cadena agroalimentaria en los mercados nacional y de exportación.

La bioprospección, será una contribución al conocimiento sobre la agrobiodiversidad del país, en plantas, animales o microorganismos, con una amplia diversidad de objetivos (¿para qué buscamos?) y de objetos (¿qué buscamos?). Esta diversidad hará que la bioprospección pueda ser sencilla (v.g. la búsqueda de una nueva especie

* Corporación Colombiana de Investigación Colombiana-CORPOICA. cruzm.carolina@gmail.com
Ver información de autores en el Anexo 1

de *Heliconia* para el mercado de exportación de flores) o compleja (v.g. la búsqueda de microorganismos implicados en la movilización del fósforo en la altillanura), y prolongarse o acortarse en el tiempo. Rara vez es un fin en sí mismo, sino más bien el punto de inicio de procesos de investigación, desarrollo e innovación.

1.1. Contexto nacional

El país cuenta con documentos sobre bioprospección contruidos con la participación de varios actores nacionales (240 entidades y 560 participantes), donde ésta se define y se exaltan los logros que Colombia podría alcanzar como fruto de alianzas estratégicas que estarían dadas de acuerdo con las posibilidades y condiciones del momento (Melgarejo *et al.*, 2002 a; Melgarejo *et al.*, 2003). La bioprospección puede suplir parte de la demanda regional, nacional o mundial, y generar valor agregado a las cadenas productivas. La agrobiodiversidad colombiana permite generar ventajas competitivas con recursos promisorios que mediante un manejo adecuado de aspectos jurídicos, económicos, científicos, tecnológicos y comerciales, pueden posicionarse en mercados nacionales e internacionales (por ejemplo frutales o productos con denominación de origen).

La bioprospección es un proceso que involucra tres etapas o ejes (Melgarejo *et al.*, 2002b): i) Investigar (o conocer, a partir de las especies agrícolas, animales o microorganismos para obtener productos de alta calidad); ii) Transformar en producto (referente a todos los procesos que involucra la agroindustria (v.g. obtención de pulpas, semillas, conservas, procesamiento de leche, carne, otros) o las bioindustrias (v.g. plantas o animales mejorados genéticamente, bioplaguicidas, biofertilizantes, probióticos, prebióticos, aceites esenciales, entre otros) y iii) Comercializar (mercado regional, nacional e internacional).

Para avanzar en dicho proceso, se requiere el trabajo conjunto de los sectores académico, empresarial regional, nacional o internacional, comunitario y gubernamental; es igualmente necesario disponer de materia prima la mayor parte del año para sostener la demanda del mercado en productos no procesados (ejemplo frutas, vegetales, otros) y procesados (Melgarejo *et al.*, 2002 a y b). A continuación se mencionan algunos productos del proceso de bioprospección en Colombia:

- i. El café de Colombia (Federación de Cafeteros de Colombia) que en sus productos exhibe la denominación de origen “Café de Colombia”, famoso a nivel mundial y que se ha sostenido en el mercado por muchos años.
- ii. Los biofertilizantes y bioplaguicidas, que ya se comercializan en el mercado nacional (v.g. CORPOICA, Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional - Biocultivos S.A., empresas privadas).
- iii. Los productos amazónicos como el ají majiña (desarrollado a través de proyectos de investigación SINCHI-Universidad Nacional de Colombia (UN) - sector

productivo, y con el apoyo del programa de mercados verdes del Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial y COLCIENCIAS el cual tiene registro INVIMA (actualmente se comercializa a nivel local).

- iv. La fabricación de chocolate y dulces a partir de especies de *Theobroma* o cacao amazónicos (*Theobroma grandiflorum*- copoazú, *Theobroma bicolor*- cacao) a través de proyectos de investigación SINCHI-UN con el apoyo de COLCIENCIAS.
- v. El desarrollo de nuevos productos a partir de guayaba *Psidium guajava* en la provincia de Vélez (Santander), programa desarrollado entre UN – CORPOICA - sector productivo financiado por el MADR, el programa estuvo conformado por tres proyectos que cubrieron las dos primeras etapas de la bioprospección.

Hay muchos otros proyectos que se han venido desarrollando en Colombia con obtención de resultados promisorios para el sector productivo (productos en fresco, productos procesados, tablas de calidad, manejo de cultivos, entre otros) y que en todo caso generan valor agregado y fortalecimiento de la cadena productiva.

A pesar de los esfuerzos por consolidar la bioprospección en Colombia, se han identificado debilidades en el proceso, relacionadas con: la falta de conocimiento integrado (acercamiento de varias disciplinas); falta de la materia prima en la cantidad y calidad requeridas para suplir al sector agroindustrial; desarrollo agroindustrial escaso; logística de mercadeo deficiente (no es claro el nicho o segmento de mercado); campañas poco agresivas en ferias en ámbitos nacionales y principalmente internacionales para la compra de productos o subproductos en fresco o procesados con denominación de origen; falta mayor control de calidad de los productos; faltan normas más eficientes para el acceso a recursos genéticos y para la distribución justa y equitativa de los beneficios (CONPES de Biotecnología 3697); ausencia de estrategias que permitan la entrega de resultados más tangibles en el corto, mediano y largo plazo.

Para el desarrollo de los programas de bioprospección, el sector productivo debe desempeñar un papel preponderante desde el inicio; de igual manera se deben priorizar algunas especies por departamento o región del país, que se aborden desde una perspectiva multidisciplinaria, donde confluyan varias entidades académicas, de investigación, sector productivo, comunidades con apoyo gubernamental para dar inicio o continuidad a la generación de valor agregado y para el fortalecimiento de las cadenas productivas.

1.2. Contexto internacional

En el ámbito internacional algunos países han tenido iniciativas en programas enfocados a la generación de productos de origen biológico, empleados en farmacia, cosmetología, nutraceutica y fitosanidad, algunos de los cuales han tenido éxito, así como también dificultades para su ejecución. Dentro de los países que han trabajado en el desarrollo de este tipo de iniciativas están Brasil, Costa Rica, Chile,

Sudáfrica, México, España, Estados Unidos, Perú, Panamá, Argentina, entre otros (bioDevelopments-International Institute, 2004) (Quezada, 2007). En la Tabla 1 se describen ejemplos en los que se ha identificado la cadena de valor, que implica entender, crear y entregar valor.

Tabla 1. Ejemplos de programas de bioprospección a nivel internacional con su análisis de la cadena de valor.

Proyecto Bioprospección	Entendimiento del Valor	Creación del Valor	Entrega del Valor	Administración del Valor
<i>Extracta Moléculas Naturais</i> Brasil, 1999 www.extracta.com.br	Aplicó la ciencia y la tecnología para aislar, caracterizar y obtener moléculas naturales para la generación de valor de productos farmacéuticos a partir de la gran diversidad de recursos vegetales que posee Brasil	Aplicó tecnología especializada para obtener moléculas precisas y compuestos puros. Alto nivel de organización en procedimientos de recolección. Implementación de la plataforma tecnológica, las políticas de licencias y otros aspectos comerciales. La investigación fue internalizada y externalizada, al igual que la producción.	Firmó contrato con la compañía farmacéutica Glaxo Smith Kline. Trabajó con empresas biotecnológicas como la Corporación Genzyme de EEUU. El CGEN (Consejo de Administración de Recursos Genéticos) dio las autorizaciones para la bioprospección, con políticas de beneficios para los propietarios de los materiales naturales recolectados y clasificados para sus productos.	Financiación propia, de fundaciones y del Estado. Alianzas entre universidades para fomentar la investigación. (Universidad Federal de Rio de Janeiro y Universidad Federal de Pará en Belém).
<i>Natura Cosméticos</i> S.A. Brasil, 2004 www.natura.net	Empleó la ciencia y la tecnología para obtener extractos de nuez, manzanilla, cacao, guaraná, copaiba, palo de rosa, pitanga, andiroba, butiti, entre otros, para la elaboración de productos cosméticos.	Aplicó plataforma tecnológica propia para la investigación y el desarrollo de sus productos. La investigación y producción fue internalizada.	No ha firmado convenios ni alianzas, pero tiene políticas de responsabilidad social y de beneficios con la comunidad Iratapuru quien provee la materia prima.	Financiación propia. No ha tenido alianzas con universidades e institutos de investigación.
<i>Laboratorios Lisan</i> S.A. Costa Rica, 2004 www.lisanr.com	Empleó la Investigación científica y tecnológica para aislar, desarrollar, producir y comercializar productos cosméticos, farmacéuticos y fitosanitarios de uso humano y veterinario a partir de recursos vegetales, con base en la etnobotánica, a partir de la biodiversidad de plantas en Costa Rica.	Aplicó tecnología para extraer los compuestos activos de las plantas y hacerlos disponibles. Las actividades de investigación y producción fueron internalizadas.	Firmó un acuerdo con el Instituto de Biodiversidad de Costa Rica (INBIO), para mejorar la capacidad e innovación de productos con patentes en proceso de producción y usos de sus compuestos. Se definieron los beneficios para los agricultores que producen materias primas.	Financiación propia y con préstamo sin intereses por parte de INBIO. Alianzas entre universidades para fomentar la investigación. (Universidad de Costa Rica y Universidad Nacional).
<i>Bioscan</i> Chile, 2005 www.bioscan.cl	Aplicó la investigación científica y tecnológica a la obtención de moléculas pequeñas a partir de algas marinas para la sanidad vegetal y salud humana.	Contó con la infraestructura necesaria para las actividades de investigación y el desarrollo de sus productos.	Realizó alianzas para transferencia de tecnología con instituciones y empresas de Estados Unidos. Patentó un polisacárido de alga roja nativa de Chile, utilizado como bioplaguicida en plantas de tabaco.	Financiación propia. Contó con alianzas en universidades, hospitales y clínicas.
<i>KinaBiotech</i> España-Perú, 2002	Aplicó la investigación científica y tecnológica, con enfoque en la quinua para la producción de compuestos farmacológicos, nutracéuticos y cosméticos.	Contó con la infraestructura necesaria para la investigación y el desarrollo de sus productos de manera interna.	No ha firmado convenios ni alianzas. Contó con licencia del Instituto Nacional de Recursos naturales del Ministerio de Agricultura para acceso a los recursos genéticos. Definió políticas de beneficios con el grupo Aymara.	Financiación propia. No tuvo alianzas con universidades e institutos de investigación.

*Esta tabla continua en la página siguiente

Proyecto Bioprospección	Entendimiento del Valor	Creación del Valor	Entrega del Valor	Administración del Valor
<i>CSIR (Concejo de investigación científica e industrial) Sudáfrica, 2004</i>	Aplicó la investigación científica y tecnológica, con enfoque en el uso de su biodiversidad vegetal y el conocimiento indígena, para el tratamiento y prevención de enfermedades y la generación de productos farmacéuticos.	Contó con plataforma propia para el desarrollo de su investigación pero la producción y comercialización fueron externalizadas.	Firmó un acuerdo con la compañía farmacéutica Phytopharm. Patentó el desarrollo del producto P57 (contra la obesidad). Definió políticas de beneficios para el conocimiento indígena.	Financiación propia. Hizo alianzas con el instituto nacional de Biotecnología, el cual a su vez interactuó con otras instituciones científicas y universidades de Sudáfrica, para fomentar la investigación.
<i>Bioamazonia (Asociación brasilera para el uso sostenible de la biodiversidad de la Amazonia). Brasil, 2000</i>	Organización social creada para implementar la investigación científica y tecnológica. Su enfoque se basó en el uso sostenible de la biodiversidad de la Amazonia.	Las actividades de investigación fueron internalizadas y las de producción y comercialización externalizadas.	Firmó acuerdo con Novartis Pharma AG. Este acuerdo no fue consultado con el Concejo científico de la Bioamazonia y el Ministerio Brasiero del Medio Ambiente lo suspendió.	Contó con financiación del estado. No tuvo alianzas con universidades e institutos de investigación.
<i>Universidad de Georgia Estados Unidos - México, 1997</i>	Adelantó investigación científica con enfoque en plantas medicinales del Estado de Chiapas para descubrir medicamentos y preservar los conocimientos tradicionales de la comunidad Maya.	Las actividades de investigación fueron internalizadas y externalizadas.	Tenía definidas políticas de beneficios con la población Maya, a la cual entrenaron los investigadores, para la representación, recolección y etiquetado de las plantas tradicionales. Se presentaron problemas por dificultades con el idioma y mala interpretación por grupos de acción local, que lo consideraron engaño del ICBG para la explotación comercial.	Contó con financiación del ICBG (Internacional Cooperative Biodiversity Group) y con alianzas en universidades como ECOSUR en México.
<i>InBio (Instituto Nacional de Biodiversidad) Costa Rica, 1991</i>	Aplicó la Investigación científica y tecnológica a la biodiversidad para la detección, aislamiento y caracterización de sustancias químicas, extractos de plantas, metabolitos secundarios y genes para la generación de productos farmacéuticos.	Contó con plataforma propia para el desarrollo de su investigación. Las actividades de producción y comercialización fueron externalizadas.	Firmó acuerdo con Merck-Co, con el apoyo del Ministerio del Medio Ambiente y Energía (MINAIE). El acuerdo definió políticas de beneficios para InBio y el MINAIE.	Contó con financiación de Merck. No tuvo alianzas con universidades u otros institutos de investigación.
<i>Bioprospección como una herramienta para la Conservación, Desarrollo Humano y Económico Panamá, 1998</i>	Aplicó investigación científica y tecnológica enfocada en la bioprospección de los microorganismos, transgénicos y plantas para usos industriales.	Contó con equipos de alta tecnología y personal calificado. La investigación fue internalizada y externalizada, al igual que la producción.	Firmó acuerdos con el ICBG, SNS (Instituto Nacional de Salud), NSF (National Science Foundation), USDA (Departamento de Agricultura de EE.UU.), DOE (Departamento de Energía), y NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica). Contó con el apoyo de la Autoridad Nacional de Panamá del Medio Ambiente (ANAM), para facilitar el acceso a los recursos biológicos. Desarrolló productos contra enfermedades tropicales como la malaria, chagas y leishmaniasis, cuatro pre-patentes y 46 publicaciones en revistas científicas.	Financiación del Estado y alianzas con el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, el Instituto Scripps de Oceanografía, la universidad Nacional de Panamá, Universidad de California, Universidad de Utah, Universidad de Arizona, Universidad de California y la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación (INDICASAT).
<i>Los microorganismos del ecosistema marino de la Corriente de Humboldt: una fuente potencial para aplicaciones Biotecnológicas Chile</i>	Proyecto de investigación científica y tecnológica de la Universidad de Concepción de Chile, basado en el alto potencial de los recursos genéticos y las comunidades microbianas del ecosistema marino para aplicaciones biotecnológicas e industriales.	Contó con modernas instalaciones para la investigación genómica de las comunidades de microorganismos. La investigación fue internalizada.	No ha firmado acuerdos con otras empresas para iniciar la etapa de producción, pero requiere de políticas de derechos de propiedad intelectual. Aisló e identificó especies del ecosistema marino y creó un banco de cepas, y/o banco de genes.	Financiación propia. No contó con alianzas para el desarrollo de su investigación.

*Esta tabla continua en la página siguiente

Proyecto Bioprospección	Entendimiento del Valor	Creación del Valor	Entrega del Valor	Administración del Valor
<i>La biodiversidad, biomasa y bioproductos para el desarrollo regional sostenible y el desarrollo agroindustrial. Argentina</i>	Aplicó la investigación científica con enfoque en la importancia agrícola de la producción de caña de azúcar y el uso de la vinaza para la producción de bioetanol y fertilización de suelos.	Contó con recursos técnicos y humanos de alta calidad cuyas actividades de investigación fueron internalizadas.	Firmó acuerdos de colaboración con empresas. Contó con acuerdos de confidencialidad para proteger los derechos de propiedad intelectual.	Financiación propia. Contó con el equipo de investigación de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres de Tucumán
<i>Aplicaciones biotecnológicas de la microbiota de suelos semiáridos del Estado de Bahía Brasil</i>	Investigación científica enfocada en el potencial industrial y farmacológico de comunidades de microorganismos presentes en suelos semiáridos del Estado de Bahía, caracterizados por ser poco profundos, pedregosos y arenosos.	Contó con la infraestructura y equipos de alta tecnología para realizar ensayos metagenómicos. Las actividades de investigación fueron internalizadas y externalizadas.	Firmó acuerdos estratégicos con pequeñas y medianas empresas de biotecnología a nivel nacional e internacional e hizo un consorcio con tres instituciones brasileñas para complementar la experiencia y la infraestructura necesaria. Creó una base de datos de genes con potencial industrial de los microorganismos presentes en estos suelos.	Financiación del Estado. Tuvo alianzas con la Universidad Estadual de Feira de Santana (UEFS) y la Universidad Estadual de Santa Cruz (UESC). Se apoyó en Laboratorios de investigación en Microbiología (LAPEM), centros con experiencia en Microbiología, Biología Molecular, Bioquímica, Bioinformática, Genómica y Proteómica.

Para la ejecución de estos programas, se desarrollaron cadenas de valor con la creación y entrega del mismo, lo que permite implementar un proceso de entendimiento del valor y la identificación de nuevas oportunidades para generarlo, estableciendo el tipo de enfoque de aplicación científica o tecnológica, efectuando la planificación y ejecución de actividades de investigación y desarrollo, para lo que se identifica cual de éstas es necesario externalizar. Finalmente, en el proceso de entrega de valor se define qué modelo de transferencia de tecnología se debe emplear, ya sea de manera independiente, con empresas con capital de riesgo, empresas del estado o acuerdos con corporaciones; igualmente se deben gestionar los aspectos de propiedad intelectual, patentes, *know-how* y el marco legal aplicable. En la administración de la cadena de valor intervienen aspectos como el tipo de financiación del programa, la supervisión de las actividades de operación y la existencia de asociaciones con otras entidades públicas o privadas.

1.3. Factores de éxito y limitantes

Es importante considerar en el caso de los programas de bioprospección los principales limitantes que han afectado el desarrollo de las iniciativas o la llegada de los productos generados al mercado. Los más mencionados en las experiencias internacionales son: i) la falta de coordinación entre lo técnico, lo científico, la valorización de los productos o de las tecnologías generadas y el mercado; ii) no se caracteriza el cliente desde el inicio de la propuesta; iii) se hacen desarrollos sobre productos no escalables; iv) la legislación es adversa o hay vacíos de orden legal para el desarrollo y explotación de los resultados. En el caso específico de Colombia, además de lo mencionado

anteriormente se deben considerar limitantes adicionales como: v) la escasa masa crítica; vi) el hecho de que no se asignan recursos financieros suficientes para llevar a cabo proyectos de mediano y largo plazo; vii) el apoyo a la investigación en temáticas específicas no constituye una política de Estado sino del Gobierno de turno; y viii) la infraestructura física y de equipos especializados es limitada.

En relación con los factores claves de éxito que globalmente inciden sobre los logros en biotecnología y bioprospección, tales como la necesidad de que haya una visión integral (de toda la cadena de valor) y no un enfoque parcial, se logra con aproximaciones multidisciplinarias, alcanzando la comprensión de la creación de valor y el establecimiento de objetivos claros y focalizados con una estrategia de diferenciación inequívoca. En relación con la estrategia de investigación, desarrollo e innovación, ésta debe mantener el equilibrio entre la generación de capacidades técnicas y de desarrollo, disponiendo de alianzas científicas y técnicas que cubran toda la gama de conocimientos especializados necesarios. Con respecto a la producción y manufactura de los productos, el escalamiento industrial debe ser una etapa viable para lograr una producción eficiente y rentable. Ésta debe contar con una propuesta de valor demostrable, con una perspectiva real, que garantice el impacto económico, social y ambiental para su comercialización, disponiendo de una estrategia de marketing, la cual logre la financiación de este tipo de iniciativas, lo que requiere de reglas claras, establecidas desde el inicio de los acuerdos con los diferentes actores. Lo anterior debe estar soportado por un marco legal a nivel nacional que propicie y estimule las investigaciones en materia de biotecnología y bioprospección y que genere incentivos para las instituciones y para los investigadores que hagan aportes significativos en materia de conocimiento y uso sostenible de la biodiversidad.

1.4. Demanda del mercado para el sector agropecuario

1.4.1. Tendencias mundiales

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, 2009), representada por 30 gobiernos (Australia, Bélgica, Canadá, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Japón, México, Holanda, Nueva Zelanda, Portugal, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos, entre otros), las ciencias biológicas son el motor para la innovación y la sostenibilidad en las economías, a través del desarrollo de nuevos procesos y productos. La OECD ha llamado a este desarrollo “bioeconomía” y ha establecido como necesidad fundamental un marco político para captar y aumentar los beneficios de la misma, en el cual tanto el sector público como el privado deben participar a través de un diálogo abierto e incluyente. Señala además, que el pleno compromiso con los ciudadanos es fundamental para facilitar la transición a una economía que dependa de la segunda revolución de la tecnología de finales del siglo XXI, la bio-revolución.

¿Qué posibilidad existe para que diferentes biotecnologías (que surgen a partir de bioprospección y tienen aplicaciones en la actualidad) sean un éxito comercial para el año 2030? Según la OECD (2009), dos son los factores claves: la velocidad a la cual la investigación biotecnológica produce innovaciones exitosas y los cambios en las políticas institucionales y de regulación. En investigación se asume que son necesarios largos periodos de tiempo para desarrollar un descubrimiento que tenga aplicación comercialmente viable. Además, no es posible hacer desarrollos biotecnológicos cuando el marco legal de regulación es limitante y cuando las condiciones institucionales no son propicias. En la tabla 2, se mencionan algunos tipos de nuevas biotecnologías relacionadas con el sector agropecuario que tienen mayor probabilidad de estar disponibles en el año 2030.

Tabla 2. Algunas biotecnologías relacionadas con el sector agropecuario con alta probabilidad de alcanzar el mercado en 2030 (modificado de OECD, 2009)

Producción primaria	Salud	Industria
Uso generalizado de selección asistida por marcadores o genómica (MAS) en mejoramiento de plantas, ganado, peces y mariscos.	Muchos productos farmacéuticos nuevos y vacunas, basadas en conocimientos biotecnológicos, reciben aprobación de comercialización cada año.	Enzimas mejoradas para una amplia gama de aplicaciones en industria química.
Variedades modificadas genéticamente (GMO) de los principales cultivos y árboles con mejor almidón, aceite, y contenido de lignina para mejora de procesamiento industrial y producción.	Nuevos productos nutracéuticos, algunos de los cuales serán producidos por microorganismos modificados genéticamente y otros de plantas o extractos marinos	Mejora de los microorganismos que pueden producir un número mayor de productos químicos en un solo paso, algunos de los cuales se basan en genes identificados a través de la bioprospección.
Variedades mejoradas de los principales cultivos alimenticios y forrajeros con mayor rendimiento, resistencia a las plagas y tolerancia al estrés generadas mediante GMO, MAS, intragenésis o cisgenésis.	Seguridad alimentaria por el incremento en la producción y calidad de las cosechas.	Biocombustibles de alta densidad de energía producidos a partir de la caña de azúcar y fuentes de biomasa ricas en celulosa.
Clonación de animales de alto valor genético y mejoramiento.	Productos de origen animal con alta calidad nutricional y funcional	Producción de alimentos con materias primas de alta calidad nutricional.

En relación con los retos para la investigación agrícola, la OECD (2011) considera como promotores globales, la seguridad alimentaria, el clima y los cambios ambientales. De las doce áreas consideradas prioritarias cabe destacar algunas relacionadas con el sector agropecuario en las cuales la bioprospección puede desempeñar un papel preponderante, como son: Sistemas de producción animal, relacionados con la creciente demanda de proteína animal debido al aumento de los niveles de vida en todo el mundo; los bio-procesos y bio-productos, (con macro y microorganismos), relacionados con la creciente demanda de productos con prácticas agrícolas biológicamente racionales; la agrobiodiversidad, en relación con su conservación, uso sostenible y las políticas de acceso y distribución equitativa de beneficios; y la

seguridad alimentaria, relacionada con la demanda mundial de alimentos, la cual está experimentando grandes cambios en la cantidad y estructura y aumentará notablemente junto con los cambios demográficos.

1.4.2. Tendencias de consumo

Los cambios en estilos de vida, demografía, apertura de mercados, formas de trabajo y exigencias de calidad han promovido una marcada diferencia en el tipo de productos que quiere el consumidor, cuyas demandas hacia los productos agropecuarios son cada día más exigentes. El consumidor desea que los productos sean de fácil y rápida preparación, frescos, saludables, de larga duración, con empaques llamativos y que brinden información, y a su vez contengan la menor cantidad posible de químicos y sean procesados con alta calidad.

Existe un marcado interés para que los productos agropecuarios promuevan beneficios a la salud y generen bienestar. Dentro de esta tendencia se pueden destacar intereses a nivel mundial como son:

- Alimentos saludables, naturales, con buena apariencia y alta calidad nutricional
- Productos 100% naturales. Reducción del uso de aditivos e ingredientes químicos
- Productos frescos y de larga duración o mínimamente procesados.
- Agricultura libre de agroquímicos - Ecológica
- Alimentos funcionales, fortificados, enriquecidos, con altos contenidos de fibra, dietéticos, y energéticos.
- Seguridad en la calidad de los alimentos de acuerdo con las normas vigentes de cada país.
- Nuevos productos anti-envejecimiento, para la piel, el cerebro y la memoria.
- Interés por productos sofisticados, y buena disposición frente a la variedad y lo exótico con responsabilidad hacia el medio ambiente y la ecología.
- Utilización de la biotecnología para mejorar características nutricionales, promover especies con resistencia a plagas y enfermedades, aumentar productividad agropecuaria, identificar nuevos usos y aplicaciones para la industrialización, entre otros.
- Productos nutraceuticos, biocosméticos y biofarmacéuticos, asociados a la consecución de ingredientes naturales diferenciados en especial de aquellos que no pueden ser cultivados o extraídos en países de la Unión Europea, Asia y Estados Unidos, y con principios activos que cumplan funcionalidades especiales de salud y bienestar.

Entre estas grandes tendencias se pueden resaltar mercados como el agrícola donde se encuentran nuevas oportunidades de negocios alrededor de bioinsumos, aditivos funcionales para alimentación animal, agricultura sostenible, bioremediación de suelos y aguas, reproducción *in vitro*, semillas mejoradas con biotecnologías de punta

(transgénicos o selección asistida por genómica). Todos estos negocios requieren de la bioprospección para la caracterización de especies, para su aprovechamiento y su valorización comercial. En 2009 se reportaron a nivel mundial 134 millones de hectáreas con cultivos transgénicos, un 7% más que en 2008. A nivel alimentario se desatacan oportunidades de alimentos funcionales, nutracéuticos, pre/pro-bióticos, así como la caracterización de aromas, sabores, colores, vitaminas, proteínas y antioxidantes, entre otros, para el aprovechamiento en otras industrias.

Las ventas de alimentos funcionales en el mercado de Estados Unidos fueron de US\$ 59.000 millones en el año 2009. A nivel de la industria se destacan oportunidades en biocosméticos con funcionalidad para el cuidado de la piel, anti-edad, protección UV, entre otros. Las ventas globales esta industria fueron de US\$ 290.000 millones y el segmento verde u orgánico representó cerca del 10% de las ventas con un crecimiento del 20% anual. A nivel pecuario se destacan oportunidades en razas bovinas criollas, con apuestas de trazabilidad y denominación de origen y resistencia a enfermedades.

De acuerdo con estas tendencias, se destacan oportunidades a nivel agrícola para las frutas, hortalizas, hierbas aromáticas y medicinales en el mercado nacional e internacional como sectores no tradicionales de exportación. El mercado nacional cada vez está más abierto a temas de seguridad alimentaria y al incremento de consumo de frutas y hortalizas de la población con campañas como las de “5 al día” y se evidencia una tendencia creciente del consumo de alimentación saludable y productos naturales. En el mercado internacional existe la disposición para nuevos sabores, nuevas funcionalidades y productos orgánicos y de comercio justo.

La Unión Europea (UE) tiene unas consideraciones claras de preferencia sobre los productos exóticos y orgánicos. La estacionalidad de la producción local en Europa abre también oportunidades para algunos productos, como hortalizas que pueden ser producidas en condiciones programadas y con características de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y de producción orgánica. De la misma forma, algunos productos procesados de frutas, hortalizas o tubérculos son atractivos para este mercado. El mercado de Estados Unidos tiene unas características especiales de cercanía y de perfil de consumidores en algunas regiones, que aseguran un nivel de éxito de los productos con características étnicas. Los productos frescos, particularmente las frutas exóticas, no tienen facilidad de entrada, contrario a los productos transformados que no tienen tantas restricciones impuestas por las autoridades sanitarias. Por su parte, el mercado del Caribe posee unas consideraciones de cercanía, tamaño y tipo de demanda que lo convierten en destino importante.

Lo anterior hace necesaria la aplicación de herramientas biotecnológicas desde la bioprospección que permitan conocer, conservar y aprovechar la oferta agrícola y pecuaria que tiene el país para su valorización y explotación sostenible generando así valor agregado en mercados especializados y un desarrollo económico nacional.

BIBLIOGRAFÍA

- BioDevelopments-International Institute (2004). IP Strategy Today, [on line]. [Referent Date: Septiembre 10 de 2012]. From: <http://www.biodevelopments.org/ip/ipst11.pdf>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación (2011) Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. República de Colombia. CONPES de Biotecnología 3697. 36 pp.
- Melgarejo LM, Sánchez J, Chaparro A, Newmark F, Santos M, Burbano C, Reyes C (Eds) (2002 a) Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Invemar. 334p.
- Melgarejo LM, Sánchez J, Reyes C, Newmark F, Santos M (2002b) Plan nacional en Bioprospección continental y marina (propuesta técnica). Universidad Nacional de Colombia, Invemar. 122pp.
- Melgarejo LM (2003) Bioprospección: Plan nacional y aproximación al estado actual en Colombia. En: Acta Biológica Colombiana. 8(2):73-86.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2009) "The bioeconomy to 2030 Designing a Policy agenda." Challenges for Agricultural Research. [on line]. [Referent Date: Agosto de 2012]. From: www.sourceoecd.org/generaleconomics/9789264038530.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2011) "Challenges for Agricultural Research." [on line]. [Referent Date: Agosto de 2012]. From: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264090101-en>. 301p.
- Quezada F (2007) Status and potential of commercial bioprospecting activities in Latin America and the Caribbean. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) - Serie Medio Ambiente y Desarrollo No 132. Santiago, Chile. 68pp.

CAPÍTULO

2

ANTECEDENTES DEL PROGRAMA NACIONAL EN AGROBIOPROSPECCIÓN

Alba Marina Cotes ^{2*}, Carolina Cruz Martínez ², Carolina González ², Felipe Borrero ², Fernando Rodríguez ², Hugo Jiménez ², Lorenzo Peláez ³, Luz Stella Barrero ², Mario Lobo Arias ⁴, Rodrigo Martínez ², Xavier Fargetton ²

2.1. Introducción

La biodiversidad y la agricultura son indisolubles, la integración de productos derivados de ésta representa una opción viable para mejorar la producción agropecuaria y el desarrollo de aplicaciones que permitan el avance económico y social de Colombia, si se tiene en cuenta la megadiversidad del país y su vocación agrícola.

En el documento CONPES de Biotecnología 3697 de junio de 2011, se privilegian abordajes innovadores que involucran la bioprospección y la biotecnología para el cierre de brechas tecnológicas, para mejorar la productividad del sector y para generar productos diferenciales con valor agregado que impacten el mercado.

Es factible desarrollar productos y soluciones tecnológicas para el sector agropecuario con énfasis en: a) el manejo de problemas fitosanitarios mediante el mejoramiento genético o el uso de bioproductos alternativos, b) el manejo de factores abióticos mediante mejoramiento genético o el uso de bioproductos, c) la mejora de la calidad mediante la búsqueda de atributos nutricionales, nutraceuticos y organolépticos superiores, d) la garantía de la inocuidad mediante el reemplazo de productos químicos actualmente utilizados para la producción agrícola y pecuaria que generan contaminación ambiental, residualidad o que inciden significativamente en los costos de producción y e) la transformación de los productos o de los desechos generados por la agroindustria para darle valor agregado al sector.

En el contexto del Plan Nacional de desarrollo 2010-2014 y el CONPES de Biotecnología 3697 de Junio de 2011 se contempló la estructuración de una iniciativa de bioprospección para el sector agropecuario del país que contó con la participación de una red primaria conformada por investigadores, académicos y miembros

* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. amcotes@corpoica.org.co
Ver información de autores en el Anexo 1

de diferentes instituciones y universidades, representantes de asociaciones de productores, de profesionales del sector y de entidades gubernamentales tales como el MADR y COLCIENCIAS.

En este capítulo se describe el propósito de esta iniciativa, su justificación en relación con las oportunidades de la agrobiodiversidad y la bioprospección para el sector agropecuario colombiano, con énfasis en las cadenas productivas y en las demandas del mercado. Se incluye el análisis de las demandas establecidas en los documentos de prospectiva disponibles para 23 de las 37 cadenas productivas existentes en el sector, que permitió definir tres áreas temáticas transversales con las que se podrían hacer aportes significativos desde la bioprospección y la biotecnología: **i) Calidad nutricional y funcional (demandada por un 61% de las cadenas consultadas); ii) Reemplazo de productos químicos (83%) y iii) Respuesta a factores bióticos y abióticos (96%)**. Adicionalmente, se describen los criterios de factibilidad e impacto definidos con la red primaria que contribuyeron a la conformación del programa de agrobioprospección para el desarrollo del sector agropecuario a partir de lo cual se consolidó un proyecto de plataforma de capacidades para las regiones y cuatro proyectos piloto en una primera fase.

2.2. Programa de Agrobioprospección para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia

2.2.1. Propósito

El propósito del programa de agrobioprospección para el desarrollo del sector agropecuario, es la generación de soluciones o productos innovadores que le aporten valor agregado a las cadenas de producción agropecuaria a partir del conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad. Los productos generados podrían incluir compuestos bioactivos, enzimas, genes de defensa o calidad, bioplaguicidas, biofertilizantes y aditivos funcionales con aplicaciones potenciales en otras cadenas productivas. El modelo propuesto contempla la integración de las regiones y los grupos de investigación, que actualmente trabajan de manera dispersa, y el aprovechamiento de las sinergias con miras a un objetivo común. Éste propone la integración y fortalecimiento de las capacidades nacionales (alianza sector productivo-investigativo-académico) tanto en biotecnologías de punta como en el uso de biotecnologías tradicionales, mediante el soporte técnico para realizar bioprospección y el establecimiento de una red de laboratorios y centros nacionales, que permita abordar de forma multidisciplinaria e interinstitucional los proyectos de investigación definidos inicialmente dentro del programa (ganadería, cacao y solanáceas –uchuva y papa-), consolidar una plataforma de capacidades que incluye la formación de talento humano y el fortalecimiento de plantas piloto para el escalamiento de productos y el mejoramiento de las actuales capacidades nacionales en ciencias ómicas, bioinformática y análisis químico a elevada escala.

2.2.2. Meta

Generación de productos con valor agregado tales como compuestos bioactivos, enzimas, genes de defensa, calidad y mejoramiento de plantas y animales, bioinsumos (bioplaguicidas, biofertilizantes) y aditivos funcionales (prebióticos/probióticos), entre otros, con la finalidad de incrementar el desarrollo y la competitividad de las cadenas priorizadas del sector agropecuario colombiano.

2.2.3. Justificación

2.2.3.1. Agrobiodiversidad

La agrobiodiversidad comprende la variedad y variabilidad de animales, plantas y microorganismos que son importantes para la alimentación y la agricultura, lo cual se deriva con el tiempo en una interacción entre el ambiente, los recursos genéticos y los sistemas de manejo, que incluyen las prácticas utilizadas por la gente (Pimbert, 1999). Los componentes esenciales de la gestión de la agrobiodiversidad comprenden: la conservación; los procesos de valor agregado, relacionados con bioprospección y; la utilización de la variabilidad heredable de los procesos agropecuarios del país, al igual que las actividades realizadas, en alianza, con otros entes externos (Lobo, 2011).

La importancia de la agrobiodiversidad fue exaltada en la consulta internacional llamada: “Función de la agrobiodiversidad en el logro del objetivo de desarrollo para el milenio de erradicar el hambre y la pobreza”, celebrada en Chennai, India, en abril de 2005 (IPGRI *et al.*, 2005). En este escenario, los participantes de 25 países, resaltaron el potencial de la diversidad agrícola para mejorar el bienestar de los seres vivos, al proveer las bases para la seguridad alimentaria y nutricional así como ofrecer oportunidades para la generación de ingresos.

Dentro de los requisitos que se deben considerar para que la utilización sostenible de la agrobiodiversidad contribuya en forma eficiente al crecimiento económico de un país están: i), Conservación apropiada de los recursos biológicos; ii) Implementación de procesos de conocimiento de la variabilidad presente en ella; iii) Documentación adecuada de los atributos presentes en los materiales biológicos; iv), Promoción y apoyo a los programas de pre-mejoramiento y mejoramiento con visión sistémica de los materiales biológicos elite. Estos en conjunto deben buscar la oferta de variedades vegetales y estirpes superiores de animales adaptados a la oferta ambiental, al igual que la utilización de microorganismos benéficos y de productos derivados que contribuyan a la sostenibilidad y mejoramiento de los sistemas agropecuarios (Lobo, 2011).

Colombia como una de las cinco naciones del mundo consideradas como megadiversas, no sólo posee recursos biológicos nativos inmersos en ecosistemas naturales, sino

también riqueza genética presente en los agroecosistemas productivos (Valencia *et al.*, 2010). La importancia estratégica de esta biodiversidad se refleja en el hecho de que Colombia, siendo un territorio que ocupa únicamente el 0.77% del total del área terrestre del mundo, alberga aproximadamente el 10% de las especies vegetales y animales conocidas (Dávalos *et al.*, 2003), por lo cual se le ha catalogado entre las naciones con mayor riqueza, por unidad de superficie, de plantas vasculares y vertebrados (Acopazoa, 2003), lo cual también podría ser válido para los microorganismos (Valencia *et al.*, 2010).

Un aspecto que llama la atención de la comunidad científica nacional e internacional, es la escasa información que existe respecto a la inmensa diversidad de recursos genéticos que posee Colombia, particularmente en lo que refiere a su taxonomía y sistemática. Por ejemplo, en el caso de microorganismos, a nivel mundial se considera que representan el más grande reservorio de biodiversidad inexplorada, si se tiene en cuenta que los microorganismos cultivables representan menos del 1% del total de las especies y que la mayoría de ellos está incluido en sólo cuatro phyla (Rastogi y Sani, 2011). A nivel internacional se encuentran registrados en la Federación Mundial de Colecciones (WFCC) 1.742.641 aislamientos microbianos diferentes, los cuales reposan en 593 colecciones catalogadas en 68 países. Del total de aislamientos microbianos, 761.883 corresponden a bacterias, 507.758 son hongos, 19.143 son virus, mientras que 453.857 pertenecen a otro tipo de microorganismos. Estos recursos biológicos se constituyen en una de las principales fuentes para el desarrollo de nuevos productos (WDCM, 2011).

Para el caso de Colombia, la estrategia de bioprospección ha sido tímida y poco focalizada si se compara con países desarrollados y otros países en vía de desarrollo, esto se refleja en el hecho de que Colombia no ha logrado consolidar una plataforma biotecnológica que le permita el desarrollo de bioproductos a partir de sus recursos biológicos, así como tampoco consolidar las colecciones que actualmente posee. Para el caso de los microorganismos, no se encuentran datos de pasaporte completos para las accesiones microbianas colectadas y la mayoría de ellas no se han referenciado en la Federación Mundial de Colecciones. Tampoco muchos de los aislamientos cuyas aplicaciones o productos derivados podrían ser objeto de patente, se han depositado en bancos de cepas internacionales, debido en gran medida a las restricciones de orden legal existentes en Colombia.

Pese a lo anterior, Colombia ha progresado paulatinamente en el establecimiento de colecciones de recursos biológicos de manera *ex situ* e *in situ*, a través de la promoción y apoyo de bancos de germoplasma que conservan recursos genéticos vegetales, animales y microbianos. En ese sentido, el país ha logrado posicionar colecciones individuales así como bancos de germoplasma de especies vegetales, animales y de microorganismos tanto en entidades nacionales, incluyendo institutos o establecimientos de carácter público, privado o de carácter mixto, así como en organizaciones internacionales, como el Centro Internacional de Agricultura Tropical

(CIAT), que posee la colección mundial de yuca y especies relacionadas, (Bonierbale *et al.*, 1997), la de frijol y taxa afines (Hidalgo y Beebe, 1997) y conglomerados genéticos de forrajes tropicales (Maas *et al.*, 1997).

La apuesta del gobierno Colombiano para consolidar la estrategia de conservación y uso de la biodiversidad, ha sido a través de la conformación del Sistema de Bancos de Germoplasma de la Nación para la Alimentación y la Agricultura. A partir de las colecciones de trabajo existentes, el MADR junto con el ICA, le otorgaron el mandato a CORPOICA para el manejo de las colecciones de material vegetal, animal y microbiano, así como la tarea de liderar la estrategia de conservación y aprovechamiento de nuevas accesiones y colecciones adicionadas a las ya existentes (Valencia *et al.*, 2010). Con estas directrices y el manejo de los bancos de germoplasma, CORPOICA estableció una estrategia para desarrollar procesos y productos con valor agregado requeridos por el sector agropecuario del país, en forma directa o mediante alianzas estratégicas con otras entidades del sector tanto públicas como privadas, con lo cual ha respondido a la Política Nacional de Biodiversidad: Conservación, Conocimiento y Utilización Sostenible.

El Sistema de Bancos de Germoplasma engloba tres tipos de Subsistemas de recursos genéticos: Vegetales, Animales y Microorganismos. La estrategia de trabajo en estos bancos de germoplasma involucra cuatro componentes: i) Colecta y conservación ii) Caracterización y sistemática iii) investigación y desarrollo y IV) documentación.

Para el año 2010, el subsistema vegetal acumuló un inventario de aproximadamente 34.100 accesiones, incluyendo duplicados, de 76 especies de plantas. Dentro de esta colección se incluyen especies nativas e introducidas, las cuales en la mayoría de los casos son de gran importancia biológica y económica para el país.

Un común denominador tanto para las colecciones del Banco de Germoplasma como para las demás colecciones distribuidas en el resto del país, ha sido la limitada caracterización de estos recursos; en la mayoría de los casos solo han alcanzado la evaluación y caracterización morfo-agronómica (Valencia *et al.*, 2010). Al respecto, se ha reportado que para un universo de 15.840 accesiones del Sistema de Bancos de Germoplasma, 10.181 accesiones cuentan con evaluación morfológica por atributos cuantitativos, es decir 64,26% del total. Dentro de este conjunto 6.057 accesiones cuentan con una caracterización definida por caracteres cualitativos, 38,23% del conjunto; 355 por isoenzimas, 2,24% del conglomerado; 64 con información ecofisiológica, 0,40% de éstas; y 980 estudiadas molecularmente, 5,8% de la metapoblación (Lobo, 2011).

Durante los últimos años, tanto el Sistema de Bancos de Germoplasma como las acciones conjuntas de investigación lideradas por los diferentes centros de investigación de CORPOICA a nivel nacional y otros actores del sistema de Ciencia y Tecnología del sector agropecuario, han permitido iniciar la exploración del potencial que poseen algunos de los materiales biológicos almacenados en los bancos de germoplasma.

Dentro de las aproximaciones más relevantes se encuentran las caracterizaciones de atributos organolépticos, determinación de compuestos de actividad antioxidante y caracterización fenotípica (morfología) y genotípica (marcadores genéticos) en las colecciones biológicas de algunas de las especies de plantas tales como tomate, maíz, papayuelas de altura, granadilla, granadilla de piedra, curuba, gulupa, fríjol, tomate de árbol, arracacha, ají y pimentón, papa común y criolla, lulo, uchuva, mortino o agraz, plátano, guayaba, cacao, guanábana y papaya, entre otras.

A partir de las caracterizaciones anteriormente mencionadas se han podido conformar colecciones núcleo, las cuales han sido utilizadas para la estructuración de programas de mejoramiento en donde se han privilegiado aquellos atributos que aporten valor a la especie. Para la implementación definitiva de estos programas, se requiere de procesos previos de pre mejoramiento, en los cuales el material biológico recibe o acepta material genético (genes) proveniente de genotipos exóticos, otras especies, géneros o familias vegetales. El ingreso de este material genético se puede realizar a través de procesos clásicos de mejoramiento genético acoplados con el uso de biotecnologías (v.g. marcadores moleculares, ómicas, bioinformática). Con estos procedimientos se busca asociar características favorables. Las actividades de pre mejoramiento con la utilización de los bancos, se han realizado con frutales andinos, particularmente lulo, tomate de árbol, papa, palma de aceite africana, y café, con trabajos conducidos por CORPOICA, ICA, Universidad Nacional de Colombia y CENICAFÉ. Asimismo, el germoplasma del Sistema de Bancos de Germoplasma, ha apoyado programas de mejoramiento, así, en el período 1994-2003, se reportó la entrega de 50 variedades por parte de CORPOICA, con participación de 250 accesiones del sistema y siembra de 46.651 hectáreas, con 42 de los cultivares, en los cuales se logró recabar información (Lobo, 2011).

En cuanto a recursos genéticos animales, Colombia fue el primer país de Latinoamérica en iniciar programas de conservación en el año de 1939, acción apoyada por el Decreto Número 828, donde se estableció que el 25% de los hatos bovinos en manos de particulares debían estar conformados por ganado Criollo. Esto condujo, en el año 1940, a la conformación de núcleos de mantenimiento, correspondientes a las razas “Costeño con Cuernos” y “Blanco Orejinegro”. Otras entidades, como la Universidad Nacional de Colombia, sedes Medellín y Palmira y el Fondo Ganadero de Santander han conservado núcleos de razas bovinas como “Blanco Orejinegro” o Bon, “Hartón del Valle” y “Chino Santandereano”, respectivamente; las dos últimas con poblaciones diezmadadas en la actualidad. También es destacable el esfuerzo privado con la raza “Lucerna” de doble finalidad en el Valle del Cauca.

El Subsistema de Bancos de Germoplasma Animal está conformado por poblaciones de razas bovinas criollas, porcinas y ovinas. En bovinos, se incluyen Sanmartinero, Blanco Orejinegro, Romosinuano, Costeño con cuernos y más recientemente la raza bovina Casanareña. Para el caso de los porcinos, posee ejemplares de las razas Sanpedreño, Casco de mula y Zungo, mientras que para los ovinos se conservan

ejemplares de las razas Criolla y Mora de lana. El enfoque de investigación en esta área del conocimiento se ha centrado en el estudio de aspectos relacionados con el monitoreo de la variabilidad genética, mediante la utilización de marcadores genéticos de ADN. El propósito es el de establecer el estado de conservación de las razas, su origen y posible subestructura de las poblaciones; así como también distancias genéticas con otras poblaciones comerciales. Por otro lado, la investigación ha abordado el estudio de la resistencia a enfermedades y su relación con características heredables de los animales, a través de la identificación de marcadores genéticos tales como genes relacionados con el sistema inmune (v.g mayor susceptibilidad al contagio de la brucelosis). En el mismo sentido, se han adelantado estudios para buscar e identificar marcadores genéticos asociados con carga de ecto y/o endoparásitos.

Otro énfasis importante de la investigación en este campo es la búsqueda de relaciones entre la calidad del producto, marcadores y frecuencias génicas. Actualmente, se adelantan estudios para determinar si las frecuencias de determinados genes (v.g. calpastatina) están asociados con la calidad de leche, en la misma línea otros trabajos investigan si la variación alélica de ciertos genes está relacionada con la calidad de la carne y de la leche. Al final, se busca determinar si el estudio de la variación alélica de estos genes coincide con la expresión fenotípica que exhiben los animales. Por consiguiente, la disponibilidad de marcadores genéticos puede ser utilizada en los programas de selección de poblaciones que expresen mejores características, así como en programas de mejoramiento genético.

Como estrategia de uso y multiplicación de los bovinos criollos, CORPOICA, en convenio con el ICA y el MADR, desarrolló el Programa de Fomento de los Bovinos Criollos. Este programa tiene por objeto generar núcleos de fomento en empresas ganaderas particulares. Desde su inicio en el 2005, el programa ha entregado más de 1.700 animales a 76 productores de zonas diversas del país. El programa no sólo incluye la multiplicación de los animales, sino que va acompañado de planes de mejoramiento genético que buscan incrementar la competitividad de los sistemas de producción de cría y doble propósito del trópico colombiano.

En lo referente a las colecciones de microorganismos, el país actualmente cuenta con importantes colecciones de microorganismos establecidas en reconocidas instituciones, corporaciones y universidades (UNAD, 2011). En la mayoría de los casos el énfasis ha sido el de establecer plataformas de investigación que permitan enfocarse en problemáticas identificadas en la salud y la agricultura. Entre las colecciones microbianas de mayor importancia se encuentran los ceparios de la Universidad Nacional de Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), CORPOICA, la Universidad de Antioquia, la Universidad Industrial de Santander, la Universidad de los Andes, la Pontificia Universidad Javeriana, la Corporación de Investigaciones Biológicas (CIB) y el CIAT, entre otros. De otra parte, varias empresas privadas también cuentan con colecciones de microorganismos, muchos de los cuales tienen registro de producción comercial.

El Subsistema de Bancos de Germoplasma de Microorganismos que maneja CORPOICA, está conformado por un conjunto de colecciones diversas, que incluyen: i) Microorganismos con interés en Nutrición Animal, la cual cuenta con 340 accesiones de bacterias y hongos anaerobios aislados del tracto gastrointestinal de rumiantes y otros mamíferos herbívoros. Esta colección de microorganismos constituye un material importante con potencial para el desarrollo de bioproductos con importancia en la nutrición animal (probióticos), así como de uso bioindustrial (degradación de desechos orgánicos lignocelulósicos y producción de combustibles de segunda y tercera generación); ii) Microorganismos con interés en Control Biológico, esta colección está constituida por: bacterias y hongos (mohos y levaduras); el primer conjunto cuenta con 3.026 accesiones; el segundo comprende 301 y el tercero corresponde a 249. Para el caso de las bacterias y los mohos, se consideran un grupo promisorio con un elevado potencial de biocontrol tanto de insectos plaga como de fitopatógenos (del suelo, foliares y de postcosecha), mientras que en el caso de las levaduras su aplicación principal es para el control de patógenos foliares y de postcosecha y otros microorganismos. iii) Microorganismos Biofertilizantes, esta colección tiene 679 accesiones, en las que se incluyen bacterias fijadoras de nitrógeno simbiótico y asimbiótico, solubilizadoras de fosfatos y 24 aislamientos de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA); iv) Microorganismos con interés en Salud Animal, que en la actualidad se cuenta con 191 accesiones: 114 correspondientes a bacterias, 77 a virus. Adicionalmente, se cuenta con 23 cepas de hemoparásitos y 3 de ectoparásitos. Esta colección es única en el país y, cuenta con cepas de referencia internacional, así como aislamientos nativos, los cuales desde el punto de vista genético, forman parte de un material base para el estudio de diversas enfermedades animales.

Varios de los microorganismos presentes en las colecciones que maneja CORPOICA se han constituido en principio activo de varios bioproductos. En el caso de biofertilizantes se han desarrollado varios productos registrados con el nombre de Rhizobiol con base en los géneros bacterianos *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, los cuales son considerados fijadores simbióticos de nitrógeno, que permiten sustituir en su totalidad la fertilización nitrogenada en cultivos de leguminosas (soya, arveja, frijol). Así mismo, a base de la bacteria *Azotobacter chroococcum* (fijador asimbiótico de nitrógeno) se desarrolló el biofertilizante Monibac que permite sustituir hasta en un 50% la fertilización nitrogenada en cultivos de algodón, hortalizas y algunos forrajes. Por otro lado, hay desarrollos que involucran productos con características para el control de plagas agrícolas tales como insectos y fitopatógenos. Este es el caso de un bioplaguicida a base de un virus específico para insectos (Baculovirus), el cual ha sido registrado comercialmente para la protección de semilla de papa contra la polilla guatemalteca en condiciones de almacenamiento.

Otro producto desarrollado a base de nucleopoliedrovirus se relaciona con el control del gusano cogollero del maíz, el cual se encuentra en las fases finales de evaluación en campo. De forma paralela, se han desarrollado varios bioproductos a base de

hongos y que actualmente se encuentran en proceso de registro comercial. Uno de estos productos se denomina Tricotec, elaborado a base del hongo *Trichoderma koningiopsis* y usado para el control de diferentes fitopatógenos del suelo y foliares. Otro desarrollo se relaciona con el hongo *Lecanicillium lecanii* para el control de las moscas blancas *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*. De otra parte, hay productos en proceso de desarrollo a base de bacterias, que cumplen con varias funciones simultáneamente (biofertilización, control biológico y promoción de crecimiento vegetal). En relación con microorganismos importantes para la nutrición animal, actualmente se encuentra en fase de desarrollo un bioproducto a base de bacterias anaerobias del rumen para disminuir las diarreas en terneros.

Es notorio que las posibilidades que representan los bancos de germoplasma animal, vegetal y de microorganismos para el desarrollo de bioproductos para el beneficio del sector agropecuario son inmensas. En este sentido, existe un gran potencial si se tiene en cuenta nuestra biodiversidad, los avances en ciencias ómicas (genómica, proteómica, transcriptómica, metabolómica) y bioinformática y la oportunidad de hallar sustancias de interés, considerando el hecho de que del total de compuestos bioactivos reportados a nivel mundial, la mayoría de ellos (59%) se han obtenido a partir de microorganismos (33% de bacterias y 26% de hongos), el 27% de los desarrollos son a base de plantas y el 13% son obtenidos de animales (Bull, 2004).

2.2.3.2. Cadenas Productivas del Sector Agropecuario de Colombia

La Ley de Cadenas Productivas (Ley 811 de 2003 que modifica la Ley 101 de 1993), permitió la creación de las Cadenas coordinadas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), que constituyen la unidad de análisis del enfoque que el MADR utilizó para la definición de Agendas. El MADR tuvo en cuenta el entorno para cada cadena y el interés por corregir aspectos que previamente se habían identificado como inconvenientes para un desarrollo satisfactorio de las políticas relacionadas (MADR, 2009). Entre los aspectos más destacados se encuentra la asignación de los recursos financieros según la oferta de investigación existente, lo que animó a grupos de investigadores a generar investigación en diversas áreas con el incentivo de obtener dichos recursos, y no por un deseo de satisfacer las necesidades propias de determinada área del Sector Agropecuario, las cuales permanecen en muchos casos insatisfechas, ocasionando inconvenientes para el desarrollo del Sector en el país, y favoreciendo el aumento de la brecha frente a otros países.

En Colombia, desde el año 2004 se han venido desarrollando y promoviendo políticas que pretenden mejorar la competitividad de los sectores productivos y fomentar las capacidades nacionales de desarrollo tecnológico, con un interés acorde con la actualidad mundial que se mueve en la misma dirección. Entre estas políticas nacionales se encuentran: La Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad de 2004; el Sistema Nacional de Competitividad – SNC desde

2006; la Política Nacional de Competitividad – PNC de 2008; la Ley de Ciencia y Tecnología (Ley 1286 de 2009); y finalmente las Agendas de Investigación y Desarrollo Tecnológico del MADR desde 2006.

La elección entonces, fue realizar un trabajo en asocio con los actores de las Cadenas, para identificar las demandas y ofertas de investigación de cada una, y establecer una agenda única nacional, que involucrara trabajo tanto en el corto como en el largo plazo. La definición de las agendas para las Cadenas Productivas contó con la participación de consultores brasileros, y también involucró herramientas como el análisis de desempeño, *Benchmarking*, la Vigilancia comercial, la Vigilancia tecnológica, y la Prospectiva tecnológica (Castellanos *et al*, 2009).

Estas agendas partieron de las necesidades existentes en cada uno de los eslabones de las Cadenas Productivas del país, es decir de una definición de las demandas tecnológicas, para luego delinear necesidades por oferta de investigación. Además de identificar las demandas, el trabajo realizado por el MADR también consideró la inserción del Sector productivo en un agronegocio, interesándose por estudiar también las condiciones de producción, consumo, precios, balanza comercial, entre otros. También fue considerada la situación mundial de los Productos de las Cadenas, para luego identificar las oportunidades de negocio de los mismos, y también encaminar esfuerzos para la satisfacción de los requerimientos resultantes de estos análisis.

Siguiendo esta línea, el actual trabajo de Construcción de la Agenda Nacional, partió desde el lado opuesto de la brecha, al recoger las perspectivas desde la oferta tecnológica en el país para el Sector Agropecuario, para luego establecer el estado de las brechas, y así delinear el proceso que tiene que continuar en el sector para lograr las metas establecidas en mejora de competitividad y desarrollo económico para Colombia. En este contexto, la formulación del programa de agrobioprospección responde a prioridades establecidas en la Agenda Nacional.

Actualmente, al MADR se encuentran adscritas 37 cadenas productivas, todas ellas de importancia económica para el sector agropecuario de Colombia. En cada una de estas cadenas existen necesidades que pueden ser abordadas desde la bioprospección, por lo cual, la creación de un Programa Nacional en Agrobioprospección contribuirá en gran medida al mejoramiento y aumento de la productividad y de la competitividad del sector. Para lograr esto, se requiere que la implementación de este programa sea realizado por fases, es decir, todas las cadenas no pueden participar de una sola vez en la primera fase de implementación del Programa, por lo que se hace necesario un proceso efectivo de selección para la formulación de la propuesta bajo ciertos criterios, con el fin de obtener resultados de calidad en el tiempo estipulado y que a su vez, éstos puedan servir como modelo y sean aprovechados y replicados en beneficio de otras cadenas del sector.

2.2.4. Cadenas productivas vs. Áreas temáticas de la bioprospección

El análisis de los documentos de prospectiva disponibles para las cadenas productivas del sector agropecuario permitió identificar 3 áreas temáticas transversales en las cuales la bioprospección puede jugar un papel preponderante en la generación de valor agregado para la innovación. Estas áreas temáticas transversales fueron:

- i. Respuesta a factores bióticos y abióticos
- ii. Reemplazo de productos químicos
- iii. Calidad nutricional y funcional

La selección de estas áreas temáticas transversales fue realizada mediante el análisis del porcentaje de cobertura de cada área temática en relación con las demandas mencionadas en cada uno de los documentos de prospectiva disponibles, en el siguiente orden: i) Respuesta a factores bióticos y abióticos (96 % de las cadenas); ii) Reemplazo de productos químicos (83 % de las cadenas) y iii) Calidad nutricional y funcional (61 % de las cadenas).

Por directrices de entidades gubernamentales, otras temáticas de relevancia en bioprospección como agroindustria, cosmética, farmacéutica, biocombustibles, serían abordadas en otros programas nacionales del MADR y COLCIENCIAS, por lo que este libro es dirigido principalmente a bioprospección para la producción primaria con énfasis en alimentación y agricultura.

La Tabla 3 describe en detalle elementos de aplicabilidad de cada área temática por cadena productiva de acuerdo con los documentos de agendas prospectivas.

Tabla 3. Área temática transversal vs. Cadena productiva.

Cadena Productiva	Respuesta a factores bióticos y abióticos	Reemplazo de productos químicos en el sector agropecuario	Calidad nutricional y funcional (nutracéutica) con inocuidad	Departamentos productores	Otros no relacionados con las 3 áreas temáticas
Abejas y Apicultura	Se requieren colonias con tolerancia o resistencia a ecto-parásitos, así como también adaptación a ambientes más secos para incrementar productividad.	Mejoramiento genético para desarrollar colonias resistentes a ectoparásitos.		Huila, Valle del Cauca, Risaralda, Cauca, Tolima, Norte de Santander, Amazonas, Magdalena, Sucre	Se requiere tecnificación de la apicultura, a la par con sistemas de control de calidad de los productos derivados de la miel y certificación de sus características.
Algodón textil	Se necesitan variedades resistentes a enfermedades como Ramulariosis y Fusariosis. Es indispensable disponer de materiales que toleren el uso de herbicidas, al igual que a ambientes de sequía, alta salinidad, acidez y temperatura.	Desarrollo de variedades que exhiban resistencia a lepidópteros y coleópteros, así como tolerancia al uso de herbicidas (Round-Up). Para el caso de lepidópteros se propone el uso de materiales transgénicos (Bt).		Córdoba, Tolima, Región "Costa-Llanos"	Se requiere una mayor tecnificación y mejora en la calidad de las hilanderías.

**Esta tabla continúa en la página siguiente*

Cadena Productiva	Respuesta a factores bióticos y abióticos	Reemplazo de productos químicos en el sector agropecuario	Calidad nutricional y funcional (nutracéutica) con inocuidad	Departamentos productores	Otros no relacionados con las 3 áreas temáticas
Plantas aromáticas	Se requiere un mercado de semilla limpia y de alta calidad		Determinación de las propiedades funcionales tanto de tejidos como aceites esenciales obtenidas de diferentes especies y variedades	Cundinamarca y Valle del Cauca	
Camarón	Se requiere mejoramiento genético del material. Búsqueda de nuevas especies de camarones con tolerancia o resistencia a enfermedades particularmente para la región del Pacífico.			Costa Caribe y Pacífica	
Carne Bovina	Búsqueda de estrategias para reducir la emisión de gases (metano) proveniente de la fermentación entérica del ganado. Optimización de sistemas de alimentación y manejo de los sistemas de producción basados en forrajes. Desarrollo de nuevas variedades de cultivos forrajeros de mayor calidad nutritiva con tolerancia o resistencia a enfermedades y el estrés ambiental.	Utilización de materiales forrajeros adaptados a diferentes suelos. Implementación de biofertilizantes en las praderas como reemplazo de fertilizantes químicos.	Se necesitan pastos de alta calidad nutritiva para las diferentes regiones ganaderas. Disponibilidad de razas o cruces que incrementen el valor nutritivo de la carne, en particular los contenidos de aceites insaturados (ácido linoleico y linoléico).	Antioquia, Córdoba, Casanare, Cesar, Santander, Meta Magdalena	
Carne Ovina-Caprina	Se requiere incentivar la cría y levante de animales altamente adaptados a condiciones eco-climáticas limitantes como los ovinos y caprinos, así como a sustratos lignificados y pobres en nutrientes.	Los ovinos y caprinos son rústicos y no requieren tanto cuidado. Las razas existentes parecen exhibir tolerancia o resistencia a las enfermedades y parásitos que afectan comúnmente a los bovinos, lo cual disminuye el uso de medicamentos.		Guajira, Boyacá, Magdalena, Córdoba, Cundinamarca, Cesar, Santander, Tolima, Casanare, Sucre	
Carne Porcina	Explotaciones comerciales sostenibles con productos de alto valor agregado	Alternativas al uso de antibióticos y antivirales.		Antioquia, Bogotá, Valle y Risaralda	
Caucho	La selección de clones adaptados a diferentes condiciones podría extender el área actual de cultivos en Colombia	Los problemas sanitarios por plagas y enfermedades, pueden ser manejados con la inclusión de control biológico y variedades resistentes obtenidas por manipulación genética.		Caquetá, Meta, Santander, Antioquia	
Fique	Se necesitan variedades y plántulas resistentes a los principales problemas del cultivo como la Macana, la Estrella y el gusano pasador, y los bioinsumos para el control de estas plagas.	No hay insumos registrados para el cultivo del fique, el desarrollo de bioinsumos específicos para los problemas del fique podrían reemplazar el uso de insumos químicos.	El jugo y el bagazo de fique, son desechos que deben ser explorados como alimento animal por tener buenas propiedades nutricionales, para dar un mayor valor agregado a este cultivo.	Cauca, Nariño, Santander, Antioquia, Boyacá	Se requiere tecnificación del cultivo y procesos de extracción de fibra y aprovechamiento de los principios activos del jugo, y bagazo para la ampliación del mercado.

*Esta tabla continua en la página siguiente

Cadena Productiva	Respuesta a factores bióticos y abióticos	Reemplazo de productos químicos en el sector agropecuario	Calidad nutricional y funcional (nutracéutica) con inocuidad	Departamentos productores	Otros no relacionados con las 3 áreas temáticas
Flores con énfasis en clavel	Se requiere manipulación genética para desarrollar variedades resistentes a <i>Fusarium</i> para reducir los costos de producción y abrir un importante mercado internacional.	El control de patógenos y plagas se realiza en gran parte con productos químicos. El desarrollo de bioinsumos, como <i>Trichoderma</i> y el uso de camas hidropónicas que reciclan los nutrientes, podrían reducir los insumos químicos.		Sabana de Bogotá Antioquia	
Forestales madera	Se requiere determinar las especies nativas más útiles para la silvicultura y más adaptadas en diferentes regiones y condiciones.			Antioquia, Caldas, Córdoba, Santander, Magdalena Seco, Orinoquia y Valle del Cauca.	
Cacao-chocolate	Mejoramiento genético. Desarrollo de jardines clonales y aprovisionamiento de material vegetal de calidad.	Obtención de variedades resistentes a plagas y enfermedades asociadas al cultivo. Control de moniliasis, aprovechamiento de la calidad, (sabor y aroma) de los granos	Desarrollo de nuevos productos a partir de cacao orgánico.	Santander, Huila, Arauca, Nariño, Norte de Santander, Antioquia, Cundinamarca, Valle, Tolima, Meta, Caldas, Cesar, Risaralda, otros.	Estandarización de las variables en el proceso de producción del grano. Se requiere aprovechar la calidad de la pulpa para sorbetes y propiedades organolépticas de los granos para cacaos con denominación de origen
Granadilla	Se requiere mejoramiento genético de variedades adaptadas a condiciones edafo-climáticas y con resistencia a plagas y patógenos en las zonas de producción.	Se requiere utilización de insumos biológicos para control de <i>Fusarium</i> , mosca de la fruta antracnosis, ojo de pollo y roña, al igual que el uso de biofertilizantes.	Se requieren plántulas con garantía de calidad genética, fisiológica y sanitaria y reducir la dependencia de los insumos de síntesis química que afectan la calidad de la fruta.	Huila, Risaralda, Caldas, Valle del Cauca y Cundinamarca	Viveros certificados y personal calificado para la producción de material vegetal.
Lácteos Queso y Arequipe	Se requiere mejoramiento genético de razas para producción de leche con mas grasa, proteína, que sean mas resistentes a patógenos. Mejorar la calidad y productividad de los pastos y cultivos forrajeros que incrementen la producción y calidad de la leche	Uso de vermífugos, antibióticos, vitaminas, anestésicos, vacunas, hormonas, probióticos y desinfectantes.	Control de enfermedades infecciosas que afectan la salud del ganado. Certificación de todos los hatos como libres de aftosa, brucelosis y encefalitis. Agregación de valor mediante el proceso de pasteurización y otras medidas asociadas a la inocuidad.	Cundinamarca, Boyacá y Antioquia	Tecnificación de los sistemas productivos
Mango criollo	Mejoramiento genético del material vegetal con tolerancia a Antracnosis y Mosca de la fruta.	Utilización de insumos biológicos para control de plagas y enfermedades, además de fertilización.	Acceso a materiales de propagación de vivero idóneos.	Cundinamarca, Tolima, Bolívar, Antioquia, Magdalena, Córdoba, Cesar, Atlántico, Huila, Boyacá Cauca, Valle del Cauca,	Tecnificación y mejoramiento en prácticas de manejo del cultivo
Palma de aceite (oleina roja)	Mejoramiento genético de variedades y uso de híbridos interspecificos. Caracterización molecular de variedades.	Uso de control biológico para reducir incidencia de <i>Ganoderma</i> , pudrición del cogollo y del estpite y raíz. Mejorar eficiencia de la fertilización.	Certificación de semillas. Ampliación de la base genética.	Nariño, Magdalena, Cesar y Bolívar, Norte de Santander, Santander, Caquetá, Casanare, Cundinamarca y Meta	

*Esta tabla continua en la página siguiente

Cadena Productiva	Respuesta a factores bióticos y abióticos	Reemplazo de productos químicos en el sector agropecuario	Calidad nutricional y funcional (nutracéutica) con inocuidad	Departamentos productores	Otros no relacionados con las 3 áreas temáticas
Papa criolla	Mejoramiento genético del material vegetal adaptado a las diferentes sub-regiones con resistencia a plagas y enfermedades, con tubérculos de buena forma y tamaño. Uso de colecciones de papas nativas, tanto tetraploides como diploides.	Se requiere control biológico y biofertilización para contribuir al manejo de plagas emergentes recurrentes y a reducir el uso de insumos químicos.		Cundinamarca, Antioquia, Nariño, Boyacá, Valle del Cauca	Estudios sobre Fisiología y desarrollo del cultivo. Contribución a la seguridad alimentaria. Variedades para nuevos usos y nichos de mercado.
Pitaya	Se requieren: variedades pues sólo hay una; material de propagación adecuado y adaptado a sub-regiones; estudios genéticos y citogenéticos.	Control de plagas y enfermedades como mosca del botón floral y pudrición basal del fruto con la aplicación de bioinsumos. Ajustes en la fertilización.	Se requiere mayor conocimiento sobre las propiedades y características medicinales, nutritivas, terapéuticas, nutracéuticas y funcionales de la fruta.	Boyacá, Valle del Cauca, Bolívar, Santander, Cundinamarca, Risaralda y Huila	
Uchuva en fresco	Se requiere ampliar la diversidad genética para mejorar la productividad y adaptabilidad de la especie. Mejoramiento de variedades resistentes a enfermedades (v.g. <i>Fusarium</i>) y cambios climáticos.	Hay inadecuado uso de insumos, pesticidas y fertilizantes; se requiere oferta de insumos de bajo impacto ambiental (Bioinsumos).	Se requiere investigación sobre las propiedades alimenticias funcionales, y nutracéuticas que le dan valor agregado a la fruta.	Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Tolima	
Tilapia	Se requiere identificar, caracterizar y desarrollar cruces, obtener líneas base para tilapias con alevinos más resistentes y de mayor adaptabilidad a los sistemas naturales donde se desarrolla la actividad piscícola.	Establecimiento de un sistema nacional sanitario acuícola para evitar el ingreso de agentes patógenos a los sistemas de producción y que permita certificar la inocuidad del alimento producido.	Calidad de los alevinos y del alimento balanceado. Manejo integrado del sistema de cultivo (producción, sanidad, nutrición, comercialización, mercadeo)	Huila, Meta y Tolima	Establecimiento de Buenas Prácticas de Producción
Trucha arco iris	Se requiere: control y selección genética a nivel nacional y departamental; control de sexo y producción nacional de ovas genéticas 100% hembras; reducir dependencia de líneas genéticas importadas para garantizar eficiencia y rendimiento.	Establecimiento de un sistema nacional sanitario acuícola para evitar el ingreso de agentes patógenos a los sistemas de producción y que permita certificar la inocuidad del alimento producido.	Fuentes alternativas de pigmentos.	Antioquia	Se requiere identificar nuevas tendencias de productos elaborados a partir de la trucha y tecnificación del proceso.
Panela	Mejoramiento genético de variedades con resistencia a plagas y enfermedades. Producción de semilla de buena calidad.	Se requiere uso de bioinsumos para control biológico y fertilización	Presencia de hongos en el producto final	Santander, Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Huila, Tolima, Caldas, Cauca, Norte de Santander, Risaralda, Caquetá y Valle del Cauca	
Hortalizas	Mejoramiento genético de nuevas variedades comerciales y adaptadas a diferentes zonas climáticas con mejores rendimientos, turgencia, tamaño, color, etc.) que generen diferenciación (asociada a certificación de origen).	Uso de bioinsumos para control biológico y fertilización para disminuir ataque de plagas, enfermedades y virus tales como mosca blanca, picudo del ají, <i>Phytophthora</i> , <i>Fusarium</i> , bacteriosis entre otras.	Desarrollo de variedades con mayor valor nutritivo a nivel internacional (carotenoides, sacarosa y ácido ascórbico). Producción de material vegetal de calidad.	Valle del Cauca, Guajira, Bolívar y Magdalena	Se requiere la tecnificación del cultivo

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR (2004, 2008, 2009 y 2011).

2.2.5. Parámetros de selección de los proyectos técnicos

Para el proceso de selección de los proyectos técnicos de la primera fase del Programa en Agrobioprospección, con los cuales se pueden generar resultados en el corto y mediano plazo, se consideraron dos criterios, que contaron con la participación de miembros de la red primaria de agrobioprospección para el sector agropecuario colombiano .

i) El análisis de las cadenas productivas adscritas al sector agropecuario teniendo en cuenta que los proyectos: 1) Abordaran varias áreas temáticas transversales definidas a partir de las demandas de los documentos de prospectiva en términos de calidad nutricional y funcional, respuesta a factores bióticos y abióticos y reemplazo de productos químicos; 2) Tuvieran un amplio cubrimiento y demanda regional (departamental); 3) Contaran con un relativamente avanzado estado del arte en Colombia, lo cual permitiría mostrar desarrollos en el corto o mediano plazo; 4) Sirvieran como modelo para otras cadenas al ser pilotos en la primera fase del Programa.

ii) El desarrollo de seis criterios en concordancia con los lineamientos de la *Ficha para selección de Megaprogramas sujetos de financiación de estudios de factibilidad - Fondo de CT&I* del Ministerio de Hacienda: Tres de factibilidad (Avance en diseño - Estado del Arte; Riesgo - Generación de Valor; y Apoyo Departamental) y tres de impacto (Efecto Demostrativo - CTI para resolver problemas; Fortalecimiento SIN - Desarrollo de Colombia; y Socio-Económico). Cada criterio se subdividió en subcriterios relacionados con la bioprospección en el sector agropecuario (Tabla 4). La Figura 1 muestra la matriz de decisión desarrollada y el orden de priorización de los sectores, para la selección de proyectos con mayor impacto y factibilidad. Estos criterios fueron revisados y validados por representantes de las entidades de gobierno y por representantes de sectores de investigación.

Tabla 4. Criterios y sub-criterios de factibilidad e impacto

Factibilidad				
Avance en diseño (Estado del Arte)				
Sub-Criterio	0	1	2	3
Caracterización del recurso biológico (RB) o genético	No Caracterizado	Caracterizado a nivel Morfológico	Caracterizado a nivel funcional	Caracterizado por mínimo dos niveles (fenotipo, funcional, ADN, ARN, proteína, metabolito, entre otros)
Capacidad técnica en tecnología de punta "ómicas"	No hay Capacidad	Capacidad incipiente	Capacidad media	Capacidad propia con alianzas establecidas (con resultados demostrables)
Nivel de desarrollo del producto	Hay que colectar RB	RB disponible y con mínimo dos niveles de caracterización	Desarrollo del producto a nivel de laboratorio	Producto escalado a nivel piloto

Apoyo Departamental				
Sub-Criterio	0	1	2	3
Apoyo regional	Oposición regional	Neutralidad Regional	Apoyo Regional	Demanda de origen regional

Riesgo (Generación de valor)				
Sub-Criterio	0	1	2	3
Propiedad intelectual	Todo patentado-campo cerrado	Fácil de copiar, no se puede proteger	La propuesta tiene alta posibilidad de conducir a alguna forma de protección (patente, secreto industrial, denominación de origen etc.) a nivel nacional	La propuesta tiene alta posibilidad de conducir a alguna forma de protección nacional e internacional
Demanda del usuario (productor, consumidor, otro)	No hay	Problema severo	En proceso	Hay demanda
Oferta (Riesgo de mercado)	No se conoce el mercado	Hay conocimiento incipiente del mercado	Se conocen las tendencias del mercado (precios, competidores, nichos de mercado)	Se conoce el mercado objetivo y hay alta probabilidad de lograr precios competitivos

Impacto				
Efecto Demostrativo- CTI Para Resolver Problemas				
Sub-Criterio	0	1	2	3
Propuesta para solucionar problema (s) CTI vs. soluciones existentes	Inferior a las soluciones existentes	Igual a las soluciones existentes	Superior a algunas soluciones existentes	Única solución disponible
Cobertura del Impacto	La solución no impacta a Colombia	Local	1-2 sub-regiones naturales	3 o más sub-regiones naturales

Fortalecimiento SNI - Desarrollo De Colombia				
Sub-Criterio	0	1	2	3
Desarrollo de capacidades CTI	No desarrolla capacidades (personal, formación de talento, humano, infraestructura, <i>know-how</i> , <i>good-will</i>)	Desarrolla sólo infraestructura	Desarrolla infraestructura más formación de talento humano	Desarrolla todo. Infraestructura más personal más <i>know-how</i> , <i>good-will</i> . Colombia es referente mundial (Top 2-10%)

Socio-Económico				
Sub-Criterio	0	1	2	3
Tasa Interna de Retorno (TIRec)	<12	12-20	21-30	>31
Número de pequeños agricultores beneficiados (en función de la propuesta)	Ninguno	Proporcionalmente Bajo	Proporcionalmente Medio	Proporcionalmente Alto

Impacto vs. Factibilidad

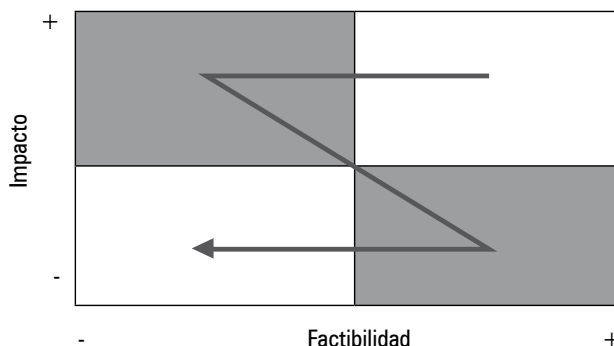


Figura 1. Matriz de factibilidad e impacto (cuadrantes de decisión). En el cuadrante superior derecho se ubican los proyectos con mayor impacto y factibilidad.

Como resultado del análisis y mediante una serie de talleres y consultas con expertos nacionales e internacionales, se seleccionaron inicialmente unas especies animales y vegetales con sus microorganismos asociados, con las cuales hay capacidad técnica nacional en universidades y centros de investigación, que a su vez pueden generar alto impacto en la economía y desarrollo de las regiones. Estas especies se propusieron como pilotos o modelos, para adelantar las actividades en la primera fase del Programa de Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario del país. Otras especies de interés para el país serán incluidas en fases posteriores. Así, la propuesta para la primera fase contempla los siguientes proyectos:

- i. Proyecto de plataforma tecnológica para fortalecimiento de las regiones
- ii. Proyectos piloto para 4 sectores específicos:
 - a. Una especie animal: ganado bovino de carne y leche, que puede extenderse a ganado ovino-caprino
 - b. Dos especies vegetales de la familia Solanácea como modelo de tubérculo (papa) y fruta (uchuva).
 - c. Una especie vegetal (cacao) como piloto de especie perenne.

Estos proyectos pilotos serán descritos y desarrollados en detalle en el capítulo 5.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Colombiana de Parques Zoológicos y Acuarios (Acopazoa) (Ed) (2003) Biodiversidad- Colombia país de vida. Programa de formación ambiental para maestros.
- Bonierbale M, Guevara C, Dixon AG , Asiedu R (1997). Chapter 1. Cassava. Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR centers. Fuccillo D, Sears L, Stapleton P. (1997) Biodiversity in trust., New York , Cambridge University Press: 1-20.
- Bull A (2004) Microbial Diversity and Bioprospecting. Washington, D.C.: American Society Microbiology Press. 524pp. ISBN 978-1-55581-267-6
- Castellanos O, Torres L, Domínguez K (2009). Manual metodológico para la definición de agendas de investigación y desarrollo tecnológico Cadenas Productivas Agroindustriales. M. D. A. Y. D. Rural, Universidad Nacional de Colombia, Biogestión: 198.
- Dávalos LM, Sears RR, Raygorodersky G, Simmons BL, Cross H, Grant T, Barnes T, Putzel L, Porzecanski AL. (2003). "Regulating access to genetic resources under the Convention on Biological Diversity: an analysis of selected case studies." Biodiversity and Conservation 12(7): 1511-1524.
- Hidalgo R, Beebe S. (1997). Chapter 11. Phaseolus Beans. Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR centers. Fuccillo D, Sears L, Stapleton P. (1997) Biodiversity in trust. New York, Cambridge University Press: 139-157.
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) (2005) La agrobiodiversidad y la erradicación del hambre y la pobreza, cinco años después: Plataforma Chennai para la Acción. 7 pg.
- Lobo M (2011) Red De Agrobiodiversidad Plan Estrategico 2010-2019. Documento Interno CORPOICA.
- Maas BL, Hanson J, Robertson LD, Kerridge PC, Abd El Monein AM (1997) Chapter 22. Forages. Biodiversity in trust : conservation and use of plant genetic resources in CGIAR centres. Fuccillo D, Sears L, Stapleton P. (1997) Biodiversity in trust. New York, Cambridge University Press: 321-348.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Corporación Colombia Internacional (CCI) (2009). Sistema de Información de la Oferta Agropecuaria, Forestal, Pesquera Y Acuicola - Encuesta Nacional Agropecuaria 2009. [en línea]. [Fecha de consulta: Noviembre de 2011]. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/201046112648_RESULTADOS_ENA_2009.pdf.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2004) Proyecto Apoyo a Alianzas Productivas. [en línea]. [Fecha de consulta: Noviembre de 2011]. Disponible en: <http://observatorio.misionrural.net/alianzas/productos/uchuva/ventaquemada/PreInversionUchuvaVentaquemada.pdf>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2008) Anuario estadístico de frutales 2003-2007. Dirección de Política Sectorial-Grupo de Sistemas de Información. Republica de Colombia. Bogotá D. C. Colombia. 284 p.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2009) Agenda de investigación de cadenas productivas. Boletín Informativo 04, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 6.2009.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2011) MINAGRICULTURA y FEDECACAO firman acuerdo de cooperación para fortalecer la competitividad de los cacaoteros. Boletín de Prensa N° 037. 24 de Febrero de 2011. Red de Comunicaciones MADR, Republica de Colombia. Bogotá D. C. Colombia. 2p.
- Pimbert M (1999) Sustaining the multiple functions of agricultural biodiversity. International Institute for Environment and Development, Sustainable Agriculture Programme. 24 p.
- Rastogi G, Sani R (2011) Molecular techniques to assess microbial community structure, function, and dynamics in the environment. In: Microbes and molecular technology: Agricultural and environmental applications. Ahmad I, Ahmad F, Pichtel J (Eds). Springer science & Business media. P. 29-58.
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) (2011) "Microbiología Estado del Arte." [en línea]. [Fecha de consulta: Agosto de 2012]. Disponible en: http://www.unad.edu.co/fac_ingenieria/pages/Microbiologia_mutimedia/1-estadoarte.htm.
- Valencia RA, Lobo M, Ligarreto GA (2010) "Recursos Genéticos Vegetales en Colombia: Sistema de Bancos de Germoplasma. Estado de arte. En: Revista CORPOICA Ciencia y Tecnología Agropecuaria 11(1): 85-94.
- World Federation for Culture Collections (WDCM) (2011) Committee. [Referent Date: Agosto de 2012]. From: <http://www.wfcc.info/index.php/committees/wdcm/>.

CAPÍTULO

3

PROCESO DE ESTRUCTURACIÓN DEL PROGRAMA NACIONAL DE AGROBIOPROSPECCIÓN

Alba Marina Cotes ^{2*}, Adriana Bernal ⁵, Alvaro Gaitán ⁶, Carolina Cruz Martínez ², Fernando Rodríguez ², Héctor Arévalo ², Jaime Eduardo Muñoz ⁷, Jonh Jairo Gallo ², Luisa Fernanda Izquierdo ², Luz Stella Barrero ², María Victoria Zuluaga ², Patricia del Portillo ⁸, Sonia Jaramillo ², Charles Wilson ²³, Michael Wisniewski ¹⁶, Steiner Bergseth ¹³, Clare Gill ⁹, Gerardo Toledo ¹⁰, Bertus Eskes ¹⁹, Kattia Rosales ²⁶, James Giovanni ²⁴, Xavier Fargetton ²

3.1. Antecedentes

En el marco del documento CONPES 3697 denominado “Política para el Desarrollo Comercial de la Biotecnología a Partir del Uso Sostenible de la Biodiversidad”, aprobado en junio de 2011, se estableció que la bioprospección y la biotecnología se convierten en herramientas poderosas que amplían el espectro de uso sostenible de la biodiversidad para el beneficio del país. En este contexto, el gobierno de Colombia por intermedio del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – MADR -, designó a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA – representada por el Centro de Biotecnología y Bioindustria -CBB-, la responsabilidad de coordinar y articular dentro del marco del proceso de “Construcción Social de la Agenda de Investigación, Desarrollo e Innovación para el sector Agropecuario”, la estructuración de un Programa Nacional en Bioprospección enfocado al sector agropecuario del país.

Para dar comienzo al proceso de estructuración, se conformó un equipo base de trabajo y se realizaron reuniones informativas con delegados de instituciones de orden estatal tales como el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR, el Departamento Nacional de Planeación - DNP, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, antes llamado Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” - COLCIENCIAS y el Ministerio de Hacienda, principalmente. Estas reuniones tuvieron como objetivo establecer las primeras pautas y los lineamientos que debían tenerse en cuenta para la estructuración del programa, así como la posibilidad de financiación a través del Sistema General de Regalías, modificado recientemente.

*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. amcotes@corpoica.org.co
Ver información de autores en el Anexo 1

Se generó una línea base de trabajo para el Programa Nacional en Agrobioprospección mediante la construcción de un documento que sustentaría las decisiones tomadas a lo largo del proceso de estructuración y formulación de la iniciativa. Así mismo, se estableció el uso de la palabra Agrobioprospección para hacer referencia específicamente a la Bioprospección realizada para el desarrollo del sector agropecuario de Colombia. Inicialmente, se hizo un análisis de todos los documentos de agendas prospectivas disponibles para las cadenas productivas establecidas ante el MADR, así como sus líneas base; del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 y del CONPES de biotecnología 3697, aprobado en Junio de 2011.

De acuerdo con este análisis, descrito ampliamente en el capítulo 2, fueron definidos temas por demandas y necesidades en áreas de ciencia y tecnología de las cadenas, los cuales podrían ser resueltos mediante el uso de la bioprospección y la biotecnología. Adicionalmente, se desarrolló una matriz de factibilidad e impacto con criterios definidos, que fueron sometidos a trabajo colectivo y de concertación entre los meses de junio y octubre de 2011, en diferentes talleres, mesas de trabajo, y eventos desarrollados entre representantes de la academia, del gobierno, investigadores y gremios, entre otros.

Teniendo en cuenta los resultados de este ejercicio previo, se llevó a cabo una preselección de los proyectos que conformarían este Programa en Agrobioprospección y que servirían como un modelo piloto inicial: ganadería, cacao, solanáceas y plataforma tecnológica como proyecto transversal a los demás. Dando continuidad al proceso, se desarrolló la ficha de inversión para el Programa, requerida para este tipo de iniciativas, de acuerdo con la retroalimentación recibida por parte de los diferentes actores involucrados. La ficha fue posteriormente presentada en Comité Ad-Hoc en el Ministerio de Hacienda y Crédito Público en Octubre de 2011, lográndose pre-aprobación del Programa por parte del Gobierno Nacional.

3.2. RED Nacional e Internacional de Investigación en Agrobioprospección (REDIAB)

La red es un instrumento flexible y eficaz, que constituye una variedad de formas de organización del trabajo de investigación para la producción del conocimiento científico-tecnológico, en proyectos de investigación y desarrollo de la Bioprospección que tiene en cuenta los criterios establecidos y utilizados, por expertos que participan en programas internacionales de cooperación de la Unión Europea con América Latina son descritos por Perozo, 2006.

Misión: Orientar esfuerzos, intereses y recursos (humanos y de infraestructura) de centros de investigación, universidades y demás organismos públicos y privados que contribuyan al desarrollo rural colombiano con equidad social, mediante la colección, conservación, exploración y uso sostenible de la agrobiodiversidad colombiana, con

el compromiso de compartir la información, metodologías, infraestructura y demás recursos indispensables entre los miembros de la red con los mismos principios y políticas de reciprocidad, libertad, convicción, confianza y respeto por la propiedad intelectual de sus miembros.

Visión: REDIAB será una red que en los próximos cinco años incrementará su visibilidad nacional e internacional, aumentará el número de investigadores altamente calificados y centros de investigación dotados con infraestructura y tecnologías de punta e iniciará la entrega de varios productos del aprovechamiento de la biodiversidad colombiana, para la aplicación en las buenas prácticas ganaderas (BPG) y buenas prácticas agrícolas (BPA), conducentes al desarrollo del sector agropecuario de Colombia, en un proceso de internacionalización del comercio y la economía.

Objetivos

1. Conformar un equipo de científicos y técnicos de diversas disciplinas para complementar capacidades en investigación, innovación y desarrollo tecnológico para el sector agropecuario (aprendizaje colectivo).
2. Definir actividades o tareas entre los miembros de la red, para aprovechar las sinergias generadas por diferentes disciplinas e instituciones.
3. Desarrollar mecanismos para la transferencia del *know-how* en exploración, uso sostenible y agregación de valor de la agrobiodiversidad para incrementar el desarrollo de las regiones y la calidad de vida de los agricultores colombianos (v.g. mediante sitios web, conferencias, talleres, cursos, pasantías u otras actividades).
4. Regular coherentemente las ideas, aplicar métodos sistematizados y obtener resultados orientados a la innovación y desarrollo de los bienes y servicios productos del aprovechamiento de la biodiversidad.
5. Organizar un servicio compartido de propiedad intelectual (PI) para facilitar la protección jurídica de los resultados de las investigaciones, y la adquisición de su titularidad, redactar patentes, marcas, diseños industriales, recibir la asesoría sobre los contratos, prestar apoyo para la gestión y comercialización de los resultados de las investigaciones (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), 2006)
6. Estimular la financiación de la ciencia, la investigación, la enseñanza y la visualización (comunicación escrita de los procesos resultados de las investigaciones, para su difusión a nivel nacional e internacional) de las diferentes actividades relacionadas con la bioprospección.

Principios:

1. La participación en la red es por afinidad abierta y voluntaria (Conjunto de colegas que investigan desde las diferentes disciplinas, los temas relacionados con la bioprospección aplicada al desarrollo del sector agropecuario del país).
2. La participación en la red es de accionar flexible, es decir, cada miembro participa

- e intercambia libremente su conocimiento y facilidades de infraestructura, para hacer parte de la generación del conocimiento conjuntamente con los demás miembros de la red.
3. La organización debe conducir a la interrelación e interdependencia de los niveles del centro a la periferia y viceversa de manera permanente (sin jerarquización), y las unidades de la red son personas o corporaciones de cualquier tipo que se manifiestan como totalidades del sistema y no como partes. Se producen interconexiones de sujeto a equipos, de equipos a organizaciones y de organizaciones a sujetos.
 4. La generación de la comunicación debe ser cuidadosa para evitar que se presenten desigualdades que conduzcan a relaciones de poder, y debe generar complementariedad y equidad entre los roles de los grupos. La clave está en la orientación de la investigación.
 5. La planeación se hace por proyectos estratégicos y de investigación, mediante un protocolo acordado entre los miembros de la Red. Esta visión es compartida para los procesos de gestión de la red.
 6. Es necesario establecer un sistema de autoevaluación permanente, mediante el cual se hace la referenciación externa y conexión con las demás comunidades o redes de investigación; con permanente documentación, que conduzca a la autocritica y al mejoramiento continuo de los procesos de investigación, innovación y desarrollo tecnológico.
 7. Es necesario determinar el nodo central de la red, que potencie el desarrollo y la comunicación intra y entre los grupos satélites de la red y a su vez éstos con los grupos o redes externas.
 8. Se deben asumir retos, la complejidad de estos depende de asumir y superar obstáculos con y entre los miembros y entender que somos diversos, y debe converger hacia un mismo objetivo.
 9. Cada miembro o grupo de la red puede pertenecer a una o varias redes, siempre y cuando se mantengan los principios misionales de la REDIAB.
 10. Se debe promover la suscripción de un documento de intencionalidad de vinculación a la red REDIAB (Cruz, 2012).

3.3. Validación del enfoque inicial del Megaprograma

Los días 14 y 15 de diciembre de 2011 se realizó en el C.I. Tibaitatá de CORPOICA, un Taller Internacional en Bioprospección que contó con la participación de especialistas nacionales e internacionales con experiencia demostrada en bioprospección enfocada al sector agropecuario. Los objetivos del taller fueron: i) Validar o modificar el enfoque inicial de Bioprospección para el sector agropecuario, ii) Plantear las opciones para organizar los recursos de operatividad, recursos nacionales vs. recursos internacionales, y iii) Definir los primeros pasos para la implementación y diseño del **Programa Nacional de Agrobioprospección** a iniciar en 2012, que permitiera maximizar el uso de los recursos que se otorgarían para esta iniciativa, para lo cual se evaluaron casos específicos para especies animales y vegetales.

Teniendo en cuenta que Colombia ha hecho una contribución muy limitada a la economía global, a pesar de ser uno de los países más megadiversos del planeta y que las directrices del Plan Nacional de desarrollo 2010-2014 y del CONPES de Biotecnología 3697 de Junio de 2011 involucran la agrobioprospección para el uso sostenible de la biodiversidad, en este taller se presentaron inicialmente tres proyectos: i) ganadería ii) cacao, y iii) especies solanáceas: uchuva, como modelo de frutas para mercados de exportación y papa, como modelo de tubérculos y alimento básico para la seguridad alimentaria del país.

En el taller los ocho expertos internacionales invitados presentaron sus experiencias en bioprospección y posteriormente se discutieron y consolidaron los proyectos de ganadería, cacao y solanáceas por grupos de trabajo con la participación de los expertos internacionales y de 30 expertos nacionales; al final se entregaron recomendaciones para el programa de agrobioprospección de Colombia. El 16 de diciembre de 2011 se realizó un simposio abierto donde se presentaron los resultados del taller previo ante investigadores de diversos centros de investigación y de universidades colombianas, delegados de entidades estatales (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural -MADR-, COLCIENCIAS y Departamento Nacional de Planeación-DNP-), así como otros representantes del sector agrícola, del sector productivo y de los gremios. El propósito del simposio fue llegar a los actores interesados en el tema de Agrobioprospección en Colombia y socializar las recomendaciones generadas por los expertos para la estructuración del Programa Nacional.

El Taller y Simposio Internacional en Agrobioprospección permitió actualizar y ampliar la Red Primaria Nacional de AgroBioprospección conformada inicialmente por 75 instituciones y 272 miembros.

3.3.1. Recomendaciones generales de los expertos

Las recomendaciones generales resultantes de la interacción de los participantes nacionales con el grupo de expertos internacionales fueron:

1. Seleccionar con base en su gran potencial y alto impacto en el sector agropecuario las áreas de investigación.
2. Hacer énfasis en el reclutamiento, formación y apoyo de investigadores.
3. Establecer relaciones sólidas a través de consorcios internacionales involucrados en áreas de investigación afines.
4. Comprometer a las partes interesadas en la planeación y ejecución de todas las etapas de investigación y desarrollo del programa, articulando investigadores, académicos y los sectores empresarial e industrial en Colombia.
5. Implementar un programa fuerte en el tema de transferencia de tecnología que soporte todos los elementos de la “cadena de valor”, que va desde el desarrollo de la tecnología hasta su comercialización.

3.3.2 Recomendaciones del panel de expertos internacionales *

Los expertos internacionales enfatizaron en las siguientes recomendaciones de manera individual:

Steinar Bergseth, Research Council, Noruega, experto en la integración nacional de programas de bioprospección, describió la experiencia Noruega en el tema de la integración nacional de programas de bioprospección. Hizo énfasis en la importancia de una cadena de transferencia de tecnología fortalecida, que asista al gobierno, centros de investigación y universidades, junto con empresarios e inversionistas en el patentamiento y comercialización de las tecnologías desarrolladas. También discutió acerca de los obstáculos a superar en términos de financiación a lo largo de la cadena de valor, desde la investigación básica hasta la etapa de mercadeo y comercialización.

Kattia Rosales, INBIO, Costa Rica, experta en la identificación y comercialización de tecnologías a base de compuestos bioactivos, enfatizó sobre la importancia de establecer directrices claras para el trabajo en redes, así como un marco legal de Acceso y Beneficio (ABS) adecuado para el tema de bioprospección. También indicó que los investigadores deben estar atentos a identificar los beneficios del valor agregado dentro de las tecnologías desarrolladas y resaltó la importancia de ampliar y mejorar las capacidades del recurso humano involucrado en procesos de I+D+I.

Charles Wilson, Wilson Associates International LLC, anteriormente USDA, USA, experto en el desarrollo y transferencia de tecnologías de base biológica, ilustró que temas relacionados con microorganismos epífitos y la inducción de respuestas bajo condiciones de estrés en plantas representan un área fértil para el trabajo en bioprospección. Recomendó el establecimiento de metas ambiciosas dirigidas hacia la resolución de problemas agropecuarios críticos. Presentó un modelo de “Incubadora Virtual” para Colombia mediante el uso del internet como mecanismo para mantener interconectados a los actores involucrados en los procesos de transferencia de tecnología.

Gerardo Toledo, Synthetic Genomics Inc., USA, experto en la comercialización de tecnologías metagenómicas y profesor del CICESE en México, enfatizó que el reconocimiento de la necesidad de un producto y las demandas del mercado son esenciales para el desarrollo exitoso de nuevas tecnologías. Mencionó que las aplicaciones deben estar enfocadas en términos de función y actividad, más que en encuestas y listas taxonómicas. Subrayó como esencial la sostenibilidad en el tiempo del sistema.

* Basado en el informe del consultor internacional Charles Wilson, Wilson Associates International LLC, Shepherdstown, WV, Estados Unidos

Clare Gill, Texas A&M University, USA, experta en genómica y mejoramiento animal, recomendó el desarrollo de un proyecto modelo que muestre la ganadería como una demanda clara de mercado. Enfatizó la importancia de identificar prioridades teniendo en cuenta las recomendaciones suministradas por parte de asociaciones de ganaderos y otras partes interesadas en el tema de ganadería en el país. Dada la intención de explotar las razas colombianas distintivas, subrayó la necesidad de llevar a cabo un programa específico, medible, realista y con resultados alcanzables.

James Giovannoni, USDA, Cornell University, USA, experto en genómica y metabolómica de plantas solanáceas, recomendó que el programa se enfoque en actividades de I+D+i con alto potencial de competitividad y diferenciación para el país como las frutas exóticas. Hizo énfasis en que se exploren las oportunidades que sean únicas para Colombia a partir de su agrobiodiversidad y que todos los esfuerzos fortalezcan relaciones y actividades con apoyo e integración en redes internacionales.

Michael Wisniewski, USDA, USA, experto en genómica de frutales, bioprospección microbiana y control biológico de patógenos en postcosecha, recomendó hacer énfasis en los problemas claves del sector agropecuario y desarrollar sistemas de colaboración con el sector empresarial e industrial del país. Enfatizó en la importancia de tener una comunicación directa y tener en cuenta las recomendaciones derivadas de los actores interesados. Advirtió ser cautelosos ante la “sobre-planificación” con directrices y objetivos muy rígidos. Así mismo, recomendó que a los investigadores se les dé más libertad para llevar a cabo sus investigaciones.

Bertus Eskes, CIRAD/Biodiversity, Francia, experto en mejoramiento genético de Cacao, recomendó darle continuidad a los esfuerzos en investigación, encaminados a la caracterización de la diversidad de las poblaciones silvestres de cacao existentes en el país. Sugirió el uso de los métodos de genética clásica para el mejoramiento de la producción, la resistencia y la calidad del cultivo. Estos métodos clásicos ofrecen altas posibilidades de lograr resultados importantes (nuevas variedades de calidad superior). También recomendó buscar resistencia a moniliasis aprovechando las colecciones existentes.

Los expertos en su conjunto hicieron énfasis en el aprovechamiento eficiente de los recursos, para lo cual hicieron las siguientes recomendaciones:

1. Estimular el aprovechamiento de la biodiversidad colombiana en los sectores de alto impacto y alta capacidad técnica, mediante la formación de investigadores y entrenamiento de auxiliares de investigación motivados, para utilizar de manera adecuada los recursos biológicos de las diferentes regiones del territorio colombiano.
2. Conformar una red de investigadores nacionales e internacionales en Bioprospección, para maximizar la utilización de las capacidades humanas, de infraestructura y equipos.
3. Consolidar grupos regionales de investigación y formar durante el desarrollo

del programa nuevos investigadores, con relaciones fuertes con grupos internacionales, lo que garantizaría que los investigadores colombianos permanezcan actualizados y afianzaría la cooperación y el uso compartido de los recursos.

4. Hacer un reclutamiento, entrenamiento y fortalecimiento de personal creativo. Capacitar profesores universitarios, investigadores, estudiantes de pre y posgrado, mediante entrenamientos específicos para desarrollar actividades en Bioprospección.
5. Planear la construcción de nuevos laboratorios, invernaderos y plantas piloto, teniendo en cuenta los conceptos de infraestructura auto-suficiente, de tal forma que funcionen con autonomía en lo que se refiere a filtros y catalizadores de agua, y a energía para calefacción, refrigeración y funcionamiento de equipos especializados.
6. Desarrollar las ciencias ómicas (genómica, proteómica, metabolómica) y la Bioinformática, pues ofrecen una serie de ventajas que permiten generar rápidamente y analizar de manera eficiente grandes cantidades de información.
7. Localizar equipos altamente costosos y sofisticados tales como microscopio confocal, equipos para genómica, proteómica, metabolómica, bioinformática, biorreactores de alta capacidad en aquellos centros de biotecnología que tengan adecuada infraestructura (áreas y servicios públicos) y capacidad científica demostrada. Dichos centros deben comprometerse a proporcionar el servicio a los investigadores que lo requieran a un costo razonable. Estos equipos robustos deben ser localizados en los sitios donde tengan acceso el mayor número de investigadores. En sus inicios, dichos Centros deben contar con un presupuesto suficientemente grande para poner en marcha los equipos con personal altamente especializado y para optimizar el servicio hasta ofrecerlo a un costo adecuado.
8. Contar con un presupuesto adecuado mediante proyectos de investigación que permita acceder a los servicios que ofrecen los centros especializados. El dinero recaudado debe ser utilizado para ayudar a soportar la operación de los equipos, para su mantenimiento, actualización y reposición con las nuevas tecnologías. Los equipos deben ser usados y mantenidos por personal entrenado para garantizar su vida útil.

Además de las recomendaciones mencionadas, el panel de expertos internacionales determinó una serie de mensajes claves que deben ser difundidos para llevar este programa de agrobioprospección a feliz término. Estos mensajes fueron:

Mensaje clave 1:

Interconexión a nivel nacional entre las instituciones que trabajan con bioprospección y demás partes interesadas en el tema

Es necesario fortalecer la relación existente entre las instituciones de investigación y la academia, con la industria y entidades gubernamentales en Colombia para que

se maximice la utilización de los recursos en infraestructura física (v.g. equipos de investigación costosos) y provean una experiencia más amplia y socialmente más relevante (v.g. estudiantes que buscan estudios avanzados a nivel de posgrado), como posible marco de referencia sobre el cual Colombia podría construir su infraestructura de bioprospección.

Mensaje clave 2:

Unión a consorcios internacionales

Fue un consenso dentro del panel internacional de expertos, que los investigadores del sector agropecuario colombiano necesitan construir relaciones internacionales fuertes con otros consorcios a nivel internacional que sean afines con sus actividades de investigación, que les permitan relacionarse y tener visibilidad internacional. Tales relaciones asegurarán que los investigadores colombianos permanezcan actualizados en sus aproximaciones de investigación y abiertos a oportunidades en términos de cooperación y de compartir recursos (v.g. infraestructura física como equipos y recurso humano).

Por ejemplo, para el proyecto de ganadería se recomendó la creación de un consorcio entre Texas A&M University, la Asociación Nacional de ganaderos de USA (U.S. National Cattlemen Association), el proyecto internacional HapMap, y el consorcio de secuenciación del genoma bovino con los investigadores de Colombia. Para el proyecto de solanáceas, se recomendó que los investigadores de Colombia sean un grupo clave en la secuenciación y análisis de Solanáceas que desarrolla el Consorcio Internacional SOL. Los miembros de este grupo incluyen a James Giovannoni (USA), Satoshi Tabat (Japón); Doil Choi (Korea del Sur); Sanwn Huang (CAAS, China); Akilesh Tyagi (ICPG, India); Giovanni Guiliano (ENEA, Italia); Antonio Gramell (España); Rene Lankhorst (Holanda); Mondher Bouzauen (INRA, Francia); Graham Seymour (U. of Nottingham, UK); Fernando Carrari (Argentina) y Dani Zamir (Israel). Colombia ya hace parte de éste consorcio a través de CORPOICA. En relación con el proyecto de cacao, se recomendó el establecimiento de una colaboración conjunta con otras instituciones que trabajan en el tema a nivel mundial como el CIRAD en Francia y USDA en Estados Unidos (Beltsville, USA), entre otros.

Mensaje clave 3:

Reclutamiento, entrenamiento y apoyo del personal dedicado a la investigación

El panel de expertos internacionales quedó impresionado con la calidad, creatividad y ética del personal involucrado en la iniciativa. Enfatizaron que un importante producto de la investigación en bioprospección es el entrenamiento y apoyo a jóvenes investigadores. Es recomendable que las relaciones existentes con centros académicos y

de investigación internacionales de alto nivel en el tema de Bioprospección, continúen y puedan expandirse, enviando investigadores de alto nivel *junior* y *senior* para que se especialicen en las tecnologías requeridas para la investigación en Bioprospección en Colombia, ya que así se asegurará que un programa de investigación se mantenga actualizado y sea competitivo.

Mensaje clave 4:

Construcción de infraestructura para procesos de transferencia de tecnología

Los expertos internacionales identificaron varios pasos, desde el descubrimiento de nuevas tecnologías derivadas de la investigación en bioprospección hasta su comercialización. Se evaluó el proceso de transferencia de tecnología a lo largo de la “Cadena de Valor”: i) investigación básica -descubrimiento-; ii) identificación de posibilidades (aplicaciones potenciales); iii) validación de la tecnología; iv) pruebas piloto; v) desarrollo de productos; vi) mercadeo y comercialización.

Los expertos internacionales estuvieron de acuerdo con el enfoque dado a la iniciativa, desde el descubrimiento hasta la comercialización. Una de las principales recomendaciones fue la de contar con personal suficiente para asistir y asesorar a los investigadores durante el proceso de transferencia de tecnología, el cual requiere una guía constante en temas de patentamiento y licenciamiento de las tecnologías desarrolladas. Se enfatizó en la necesidad de que el megaprograma cuente con un grupo fuerte en el tema de valorización y transferencia de tecnología, que guíe a los investigadores a través de toda la “Cadena de Valor”. Se enfatizó como un problema común la insuficiente financiación durante la optimización de tecnologías dentro de la “Cadena de Valor”, por lo cual muchas de las tecnologías desarrolladas terminan en el conocido “valle de la muerte” dentro de la biotecnología. Así mismo, se determinó la necesidad de la interconectividad para los procesos de transferencia de tecnología.

Los expertos internacionales presentaron varios modelos que pueden ser tenidos en cuenta para llevar a cabo procesos de transferencia de tecnología, estos modelos incluyen: incubadoras físicas, incubadoras virtuales y programas de formación en escuelas de negocios. Todos estos programas tienen el mismo propósito: interconectar al inventor y a su institución con expertos en propiedad intelectual (para proteger y licenciar el invento) y con compañías e inversionistas (emprendedores) que inviertan y comercialicen la invención.

En el taller se describieron programas de diferentes escuelas de negocios en los Estados Unidos, los cuales han sido exitosos en temas de comercialización y de propiedad intelectual desarrollada en varias universidades. El proceso se definió de la siguiente manera: La propiedad intelectual que tiene un potencial para comercialización es identificada y presentada a estudiantes de Administración

de Negocios (“Master in Business Administration” MBA) para que éstos desarrollen un plan de negocios que permita su comercialización. Se lleva a cabo una competencia entre los estudiantes de MBA por el mejor plan de negocios y al ganador se le premia con el otorgamiento del capital semilla para comenzar una empresa. Un número de nuevas compañías de alta tecnología que han sido exitosas, han iniciado de esta manera. Mediante este proceso, las universidades tienen la comercialización de la tecnología desarrollada en marcha, los estudiantes de MBA en las escuelas de negocios obtienen el entrenamiento para convertirse en empresarios y el estado crea nuevos empleos relacionados con el desarrollo de alta tecnología.

Charles Wilson (Wilson Associates International LLC) presentó en el taller el modelo de “incubadora virtual” para Colombia, la cual utiliza el poder del internet para interconectar a varias de las instituciones y entidades requeridas para un proceso eficiente de transferencia de tecnología (investigadores, instituciones, expertos en propiedad intelectual, inversionistas, y empresarios). Quienes posean algún tipo de propiedad intelectual derivada de la Bioprospección en Colombia, con potencial de comercialización, pueden registrarse en el sitio web de la “Incubadora Virtual” y presentar su tecnología. Los inversionistas (empresarios) tienen acceso y revisan las tecnologías registradas y realizan un proceso de evaluación para su posible comercialización o como base para iniciar nuevas empresas. La “incubadora virtual” colombiana también proveería recursos a nivel mundial a través de tecnologías basadas en “cloud computing” para inventores, con el fin de facilitar el proceso de patentamiento y proteger sus invenciones. Así se les ayudaría a compañías y empresarios a iniciar y fortalecer sus negocios enfocados en la comercialización de alta tecnología.

3.4. Implementación de la Metodología General Ajustada -MGA- de los proyectos de ganadería, cacao y solanáceas (uchuva y papa) del Programa de Agrobioprospección

Debido a la naturaleza de índole nacional del Programa en Agrobioprospección, se planteó la financiación del mismo con recursos provenientes del Sistema General de Regalías, por la inclusión de las regiones en la construcción e implementación de la propuesta. Para esto, fue fundamental la presentación de la propuesta utilizando la Metodología General Ajustada -MGA-, desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) para proyectos susceptibles de inversión pública. Los sectores seleccionados inicialmente como pilotos dentro del Programa, fueron sometidos a todos los estudios necesarios para garantizar su viabilidad técnica y financiera en diferentes escenarios. Uno de estos escenarios fue el taller nacional realizado el día 17 de febrero de 2012 en CORPOICA C.I. Tibaitatá, que contó con la participación de 22 expertos de instituciones tanto académicas como de investigación.

Este taller tuvo como objetivo entender el esquema MGA para el diligenciamiento de toda la información necesaria de cada uno de los componentes del programa en los diferentes módulos del MGA (Identificación, Preparación, Programación y Evaluación). Esta metodología exigió que el programa y cada uno de sus componentes fueran ajustados en relación con objetivos, actividades y resultados esperados.

La metodología empleada para el taller fue la de mesas de trabajo y discusión en grupo (ganadería, cacao, papa y uchuva) para definir por consenso la estrategia para llenar esta matriz MGA, la cual incluye 22 formatos de carácter obligatorio. En la actualidad, algunas regiones han utilizado la información de carácter nacional generada y la han ajustado a sus necesidades regionales para la presentación de proyectos para financiación ante el Sistema General de Regalías.

3.5. Determinación de las capacidades por desarrollar en la ejecución del Programa en Agrobioprospección

El 30 de abril de 2012, en la Universidad de Los Andes (Bogotá, Colombia), se llevó a cabo otro taller nacional que contó con la participación de 70 representantes de universidades públicas y privadas de varias regiones del país (Cesar, Atlántico, Sucre, Magdalena, La Guajira, Valle del Cauca, Nariño, Santander, Norte de Santander, Antioquia, Cundinamarca, Caldas, Risaralda, Boyacá, Tolima, Caquetá, Amazonas), centros de investigación incluidos CORPOICA, CorpoGen, CENICAFÉ, Centro de Bioinformática y Biología Computacional - CBBC, así como representantes de entidades de gobierno: COLCIENCIAS, MADR y el DNP.

El objeto de este taller fue socializar el estado de avance del Programa en Agrobioprospección y discutir las condiciones necesarias para la continuidad del mismo. Los participantes fueron distribuidos en cuatro mesas temáticas.

La mesa número 1, trabajó el tema de infraestructura y equipos, dando respuesta a los siguientes interrogantes: 1) ¿Se debe externalizar (hacer fuera de Colombia)?, 2) ¿Se debe centralizar en Colombia y desarrollar en centros especializados? y 3) ¿Qué componentes se deberían desarrollar en las diferentes partes del país en donde se realizarán los proyectos incluidos dentro del Programa? (Tabla 5).

La mesa número 2, trabajó el tema de capacitación, dando respuesta a: 1) Requerimientos de conocimiento y de formación para abordar la investigación en Bioprospección y 2) Brechas y necesidades de formación (Tabla 6).

La mesa número 3, trabajó sobre los criterios que deben ser tenidos en cuenta para la inclusión de nuevos proyectos e iniciativas en el Programa, mediante la revisión y ajuste de los criterios de factibilidad e impacto establecidos y

desarrollados a lo largo del proceso de estructuración del Programa (presentados en el capítulo 2).

La mesa número 4, reflexionó sobre la importancia del trabajo en red para: 1) Avalar o modificar el esquema de trabajo en red propuesto, 2) Definir cómo se haría su coordinación y 3) Definir los recursos necesarios para su operatividad.

Como resultado de estas deliberaciones en grupo, se relaciona a continuación lo planteado por cada mesa de trabajo:

Trabajo en red

Qué se espera:

i) Mapa de capacidades de todos los actores de la red y hacer esta información disponible para todos los participantes; ii) Gestión en términos de política central, intermediación jurídica y comercial; iii) Gestión de la información; iv) Articular a los diferentes actores de la red, interpretar los diferentes lenguajes que se presentan en una red, en especial con sectores empresariales y sector productivo; v) Dar información sobre todos los aspectos relacionados con los miembros de la red; vi) Visibilizar y socializar la red, por ejemplo hacer parte de Centros de Productividad Regional; vii) Incentivar a los productores para que sean parte de la red; viii) Actualizar la red permanentemente; ix) Fortalecer los conocimientos relacionados con normatividad; x) Mercadeo de la red, internacional y nacional; xi) Favorecer las interacciones contractuales entre los elementos de la red; xii) Establecer reglas claras para el funcionamiento de la red.

Qué no se espera:

i) Que la red sea quien distribuya los recursos económicos; ii) Que asigne objetivos específicos a los nodos de la red; iii) Que tome la voz sin consulta previa de los miembros de la red; iv) Que sea parcializada hacia actores de la red; v) Que no participe en temas relacionados con propiedad intelectual.

Recursos para la operatividad de la red:

i) Crear una intranet; ii) Información y comunicación con nuevas tecnologías de tipo interactivo Web 2.0; iii) Recursos permanentes para lograr la sostenibilidad del sistema a través del tiempo.

Infraestructura y equipos:

Tabla 5. Tipo, distribución de actividades y equipos según su complejidad para el Programa en Agrobioprospección

Nivel	Muestréos y Colecciones	Genotipificación	Fenotipificación	Pre-escalamiento Escalamiento Comercialización y propiedad intelectual	Bioinformática
Internacional	Redes de conocimiento y genotipificación a gran escala	Secuenciar aquello que sea masivo por costos y tiempo	Uso de redes	Productos que tienen más ventajas de producción en el exterior	No
Nacional	Caracterización fenotípica y genotípica para clasificación e identificación. Capacidad para adelantar estrategias de uso (mejoramiento Genético) mediante redes de conocimiento. Desarrollo de sistemas expertos para clasificación e identificación. Colección nacional por grupos de organismos y fortalecimiento de la red nacional de herbarios	Utilizar secuenciadores de menor escala para aproximaciones taxonómicas, genotipificación preliminar	Inventario sobre equipos disponibles en el país. Manejar unidades de aislamiento, sistemas de evaluación metabólica y nutra genómica en plantas; cámara de crecimiento.	Fases de pre-escalamiento pueden ser a nivel nacional y en todos los sectores Escalamiento a nivel nacional pero con socios estratégicos nacionales o internacionales. Desarrollo de tecnologías de segunda y tercera generación para temas como biocombustibles. Grupo asesor en temas de propiedad intelectual desde el inicio del proyecto	Recursos computacionales compartidos
Regional	Viveros y herbarios certificados. Ceparios regionales. Colecciones de bancos de germoplasma animal y especies nativas no domesticas y especies nativas no tradicionales. Ensayos y laboratorios para conservación. Disponibilidad de uso de los sistemas expertos		Producción de materiales de multiplicación. <i>Screening</i> , bioensayos de laboratorio, invernadero y campo	Centros regionales de innovación y laboratorios de desarrollo. Plantas Piloto	Recursos de conexión en red

Además se estableció la necesidad de:

- Desarrollar doctorados en red

Articulación de alianzas estratégicas teniendo en cuenta que no todas las regiones necesitan todo, ni podrían desarrollar todo.

Capacitación para el fortalecimiento regional y nacional:

Tabla 6. Brechas y necesidades de formación que deben enfatizarse para el desarrollo del Programa en Agrobioprospección.

Nivel de formación	Formación básica	Investigación aplicada	Valorización (transferencia tecnológica)
Actor a nivel JUNIOR	Agronomía Biología Microbiología Biotecnología Bioquímica Zootecnia, veterinaria Ingeniería Agronómica, agroforestal y ambiental Microbiología con énfasis en Biología Molecular e I. Genética Química con énfasis en fitoquímica Biología con énfasis en estudios de diversidad Microbiología con énfasis en biodiversidad. Ingeniería Química	Producción de bioinsumos y selección y tamizaje en laboratorio. Microbiología con énfasis industrial. Ingeniería Química con énfasis en Bioprosesos (algunas regiones). Químico farmacéutico con énfasis en desarrollo y formulación de bioproductos. Fitopatología y entomología con énfasis en control biológico. Microbiología de suelos.	Estudios de mercado (estudios de factibilidad, formulación de planes de negocios, Análisis de competencias) Inteligencia tecnológica Vigilancia tecnológica para estudios de mercado Estudios de adopción de tecnologías Conocimiento básico de propiedad intelectual Conocimiento para establecer el perfil de los productos
Actor a nivel EXPERTO	Biología Molecular Ecotecnología Sistemática Escalamiento (Experto en ingeniería Bioquímica y producción industrial) Mejoramiento genético Biología Vegetal Biología animal Biología de hongos Fitopatología Omicas (Proteómica, Genómica, Transcriptómica) Biología sintética, Biología de sistemas, Ingeniería genética Bioinformática Matemáticas biológicas y bioestadística Fitoquímica Patología animal	Fitopatología y entomología con énfasis en manejo integrado. Impacto ambiental y sostenibilidad. Fitomejoramiento con conocimientos en recursos genéticos, evolución vegetal y biología reproductiva. Prospección animal y vegetal Optimización de procesos y escalamiento industrial	Propiedad intelectual Negociación de tecnologías Negociación de recurso genético Patentes Transferencia de tecnología Modelamiento y Administración de cadenas productivas Biocomercio Comercio internacional Eco-etiquetado Barreras fitosanitarias Trazabilidad

Finalizado el taller, se analizó el componente financiero del Programa de Bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario, estableciendo la necesidad de continuar con el trabajo de obtener los recursos necesarios tanto a nivel regional como nacional para el adecuado funcionamiento del Programa, a través de los distintos fondos existentes (Sistema General de Regalías, Fondo CTI, entre otros), relacionados con temas de Ciencia y Tecnología; teniendo en cuenta que los objetivos y entregables planteados para el desarrollo de la iniciativa son inicialmente a 5 años. Para ésto se propuso conformar una comisión con la participación regional para trabajar en red.

3.6. Proceso de divulgación y socialización a nivel nacional del Programa en Agrobioprospección

Teniendo en cuenta las recomendaciones y conclusiones derivadas del Taller Internacional y Simposio de Bioprospección realizado en Diciembre de 2011 (CORPOICA - CI Tibaitatá), entre los meses de enero y abril de 2012 se realizó la divulgación y socialización del Programa en Agrobioprospección a nivel nacional en diferentes regiones y escenarios tales como universidades públicas y privadas, centros de investigación, entidades gubernamentales (secretarías de despacho de las gobernaciones), entre otros; así como para poner la iniciativa en consideración de los diferentes actores interesados.

Como resultado de este proceso de divulgación y socialización del Programa se visitaron 25 de los 32 departamentos del país y la propuesta se dio a conocer de forma amplia a aproximadamente 1.500 personas de 255 instituciones de todo tipo a nivel nacional, a través de la realización de 37 talleres. Se presentó un reiterado interés de participar en la propuesta por gran parte de las instituciones visitadas, por lo cual se continuó trabajando en el establecimiento de alianzas viables para el desarrollo del Programa a nivel regional. La retroalimentación obtenida fue utilizada para la mejora continua del Programa, se escucharon las inquietudes y las sugerencias formuladas a nivel regional, para permitir una mayor participación y empoderamiento de la iniciativa ante los entes regionales correspondientes.

En los talleres desarrollados, además de los investigadores y docentes de las regiones, se invitaron técnicos y representantes de los gremios de la producción agropecuaria, SENA, centros de investigación y autoridades gubernamentales, dada la importancia de lograr la inclusión de los departamentos en la iniciativa. En dichas visitas y talleres realizados durante el proceso de divulgación y socialización a nivel nacional, se detectaron los diferentes niveles de desarrollo y las necesidades de los grupos regionales, en aspectos relacionados con la capacitación y asesoría para adecuación de infraestructura, compra y puesta en marcha de equipos y en formulación de proyectos con metodologías confiables, unificadas y replicables en las diferentes zonas.

En todos los talleres efectuados, se aplicó una encuesta de seis preguntas básicas para recoger información referente a la experiencia de los investigadores en temas relacionados con bioprospección a nivel nacional. Teniendo en cuenta la información suministrada, se registraron en una base de datos las fortalezas y capacidades de las instituciones y participantes, lo cual permitirá en el futuro orientar el desarrollo del Megaprograma, identificando grupos de investigación conformados, con experiencia y desarrollo en diversos temas. Las preguntas formuladas en la encuesta fueron las siguientes:

1. Información general (nombre del investigador, entidad a la que pertenece y cargo que ocupa, correo electrónico, forma parte de algún grupo de investigación – cuál?

2. Mencione dos experiencias en las que haya trabajado en Bioprospección
3. Mencione en qué cadenas y temáticas su institución podría participar
4. Sugiera tres temas de proyectos que podría desarrollar
5. Con qué otra entidad podría conformar su red de trabajo?
6. Observaciones generales al Megaprograma

La encuesta aplicada en el proceso fue respondida por 313 asistentes de todas las regiones del país, mostrando como resultado que el 68% de los encuestados ha participado previamente en los temas considerados en el proyecto de bioprospección así: uchuva 3.5%, otros frutales 13.6%, papa 3.5%, cacao 7%, bovinos 7.9%,y otras cadenas 64.5% (Figura 2). Los encuestados propusieron además de las cadenas de la fase inicial del Megaprograma, otras cadenas en las cuales tienen experiencia, como el caso de cítricos, pasifloras, agroforestería, entre otros.

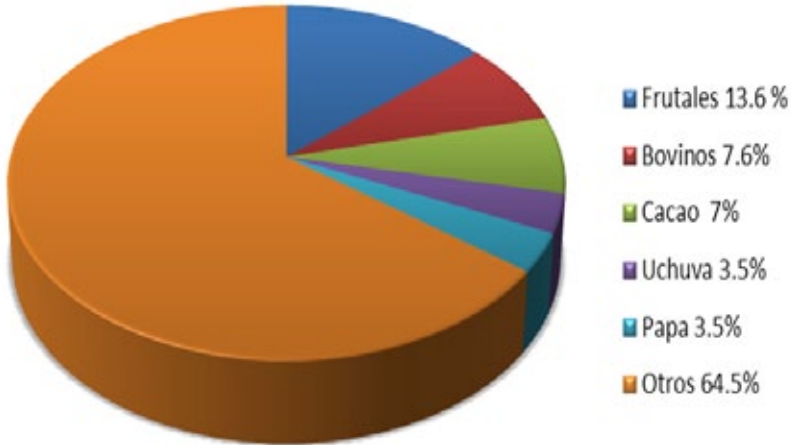


Figura 2. Experiencia previa de los asistentes a los talleres de socialización en el tema de bioprospección en diferentes cadenas productivas.

3.6.1. Resultado de los talleres de socialización: Demandas, objetivos, actividades y productos

En los talleres de socialización del programa de bioprospección en las diferentes regiones del país y en el taller junto con los expertos nacionales para cada una de las cadenas productivas (agrícola-pecuario), se analizaron las demandas propuestas por los representantes para cada uno de los proyectos piloto. Teniendo en cuenta las recomendaciones de los expertos internacionales fueron priorizados para cada cadena los siguientes aspectos: demanda, objetivos, actividades y productos. Para ganadería se priorizaron especies de carne, leche y ovino-caprino, ésta última

especie para la Guajira. En agricultura se priorizaron cacao como especie perenne y de estrategia nacional, y solanáceas papa como cultivo de seguridad alimentaria y uchuva como un frutal exótico, con demanda internacional y altas exportaciones, especialmente hacia Europa. Las temáticas priorizadas serán desarrolladas en detalle en el capítulo 4.

BIBLIOGRAFÍA

- Cruz V E (2012) Declaración de intenciones de colaboración para la puesta en marcha de una Red Iberoamericana de Investigadores. Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP). . [en línea]. [Fecha de consulta: Mayo 17/2012]. Disponible en: <http://www.auiop.org/index.php/es/redes-de-investigacion>.
- Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI). 2004. Redes de Investigación y propiedad intelectual. Publicación de la OMPI No. 921(S). ISBN 92-805-1370-2. Correo electrónico: wipo.mail@wipo.int http://www.wipo.int/freepublications/es/intproperty/921/wipo_pub_921.pdf. Mayo 17/2012.
- Perozo M (2006) Redes de investigación e innovación en la universidad venezolana. Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura ISSN 1315-3617 versión impresa. v.12 n.2 Caracas jul. 2006. http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-36172006000200011&lng=es&nrm=is. Mayo 17/12.

CAPÍTULO

4

FORTALECIMIENTO DE UNA PLATAFORMA NACIONAL DE ALTA TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROGRAMA DE AGROBIOPROSPECCIÓN

Alba Marina Cotes ^{2*}, Carolina Cruz Martínez ², Fernando Rodríguez ², Luz Stella Barrero ²,
Marjorie Santamaria ², Sonia Jaramillo ²

4.1. Introducción

La identificación y el fortalecimiento de las capacidades regionales de investigación e innovación para el trabajo en Agrobioprospección son fundamentales para lograr un trabajo colectivo, que permita aprovechar las fortalezas de regiones que actualmente tienen mayores avances en investigación y desarrollo tecnológico en pro del desarrollo de regiones que han estado más alejadas o que han tenido menos posibilidades en actividades relacionadas con el desarrollo del sector agropecuario.

Colombia se encuentra en el grupo de los países emergentes con mayores expectativas de crecimiento en la próxima década. Las economías del grupo CIVETS, integrado por Colombia, Indonesia, Vietnam, Egipto, Turquía y Sudáfrica (Allen, 2011) tienen características comunes como: diversidad de exportaciones, su riqueza se basa en recursos naturales y productos primarios, localización geopolítica estratégica y aumento considerable de la inversión extranjera directa. La estabilidad y disposición institucional hacen cada vez más llamativas las inversiones en sectores de alto valor agregado, donde la bioprospección/biotecnología se perfila como un sector líder.

CORPOICA ha asumido el papel de mediador en la implementación de una iniciativa en Bioprospección que proviene del Gobierno Colombiano. Como se señala en el capítulo 2, el propósito de este programa de bioprospección para el desarrollo del sector agropecuario, es la generación de soluciones o productos innovadores que le aporten valor agregado a las cadenas de producción agropecuaria a partir del conocimiento y uso sostenible de la biodiversidad. Se espera impactar sectores agropecuarios a nivel económico y social, mejorando la competitividad y contribuyendo a la seguridad

*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. amcotes@corpoica.org.co
Ver información de autores en el Anexo 1

alimentaria del país con altos estándares de calidad e inocuidad. Los productos generados pueden incluir compuestos bioactivos, enzimas, genes de defensa o calidad, biopesticidas, biofertilizantes, enzimas, probióticos y aditivos funcionales con aplicaciones potenciales en otras cadenas productivas. El modelo de bioprospección con uso comercial servirá como piloto para otros proyectos en el área agroindustrial, farmacéutica y cosmética.

Colombia tiene una posición estratégica para tomar liderazgo en la utilización de la bioprospección, para suplir necesidades del sector agropecuario, para desarrollar grandes proyectos que integren otros centros de investigación académicos públicos o privados, porque ha estructurado un sistema de bancos de germoplasma para el sector agropecuario, tiene capacidad técnica para hacer investigación básica en el área vegetal, animal y de microorganismos, ha desarrollado experiencias exitosas en el desarrollo y comercialización de bioproductos y tiene la meta de integrar a las regiones en el programa de bioprospección. Es la primera vez que se hace un esfuerzo a nivel nacional para desarrollar una iniciativa que integre las regiones y los grupos de investigación, que actualmente trabajan de manera dispersa, y de aprovechar las sinergias con miras a un objetivo común “contribuir al desarrollo del sector agropecuario del país”, como parte de la estrategia del MADR.

El proyecto sobre plataforma de capacidades técnicas deberá integrar y fortalecer las capacidades nacionales (alianza sector productivo-investigativo-académico) tanto en biotecnologías de punta como en el uso de biotecnologías tradicionales, mediante el soporte técnico para realizar prospección y el establecimiento de una red de laboratorios nacional, que permita abordar de forma multidisciplinaria e interinstitucional los proyectos de investigación definidos dentro del programa, con valor agregado y beneficio para otras cadenas productivas. Este también incluye el fortalecimiento de plantas piloto para el escalamiento de productos y el mejoramiento de las actuales capacidades nacionales en biología molecular y análisis químico.

4.2 Estado del arte

Colombia como país rico en recursos biológicos y genéticos requiere una adecuada capacidad científica y tecnológica para la construcción o fortalecimiento de capacidades nacionales en Ciencia, Tecnología e Innovación (v.g. mejoramiento de infraestructura - laboratorios y equipos-, participación en redes de conocimiento, formación del recurso humano, publicaciones nacionales e internacionales, propiedad intelectual, incremento en el uso de tecnologías de punta) (Duarte y Velho, 2009; Neumann y Quaggiotto, 2005; Tobin, 2005; Swiderska, 2001).

En Colombia, los grupos de investigación que han abordado el tema lo han hecho preferiblemente de forma aislada, por lo cual es necesaria la conformación de redes de trabajo. Según estudios recientes (Duarte y Velho, 2009), en Colombia existen

por lo menos 71 grupos de investigación que trabajan en temas relacionados con bioprospección, de los cuales el 72% tienen reconocimiento por parte de COLCIENCIAS, demostrando de esta forma la existencia de unas capacidades básicas para profundizar en trabajos de esta temática, pero que requieren el fomento y la articulación de acciones de política científica y tecnológica en temas relacionados con la bioprospección, en este caso, para el desarrollo del sector agropecuario colombiano.

Sin embargo, para la estructuración y desarrollo del presente programa, es indispensable la identificación y consolidación de las capacidades internas existentes de infraestructura, equipamiento, *know-how* y recurso humano que les permitan a los diferentes actores adelantar estudios de alta eficiencia en Ciencia, Tecnología e Innovación en actividades relacionadas con Agrobioprospección. Es así como la literatura relevante reseña algunas experiencias en bioprospección en Colombia, de las cuales se puede evidenciar alguna interacción entre instituciones nacionales académicas o de investigación (Melgarejo et al., 2002 a y b; Quezada, 2005). Varias universidades y centros de investigación que desarrollan actividades en temas relacionados con bioprospección, cuentan hoy con reconocimiento a nivel nacional y algunos a nivel internacional. Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, se hace necesario incrementar las capacidades nacionales con estándares internacionales, que le permitan a Colombia posicionarse como un país competitivo en la generación de valor para el sector agropecuario.

Adicionalmente, se hace necesario contar con un marco legal y jurídico eficiente para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad, así como para la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la misma. En Colombia dicho marco es en la actualidad altamente complejo, lo cual dificulta enormemente la posibilidad de avanzar en temas de bioprospección de alta eficiencia (ómicas) y de propiedad intelectual, en alianza entre universidades o centros de investigación, así como entre los sectores científico y empresarial.

4.2.1. Entorno internacional: Estudio de caso – genómica vegetal en especies piloto y algunos microorganismos asociados

Son varias las iniciativas que se han puesto en marcha en el mundo a través de la utilización de las ciencias ómicas (genómica, transcriptómica, proteómica, metabolómica, citómica, fenómica) y la bioinformática, para la conformación de plataformas globales que han permitido lograr avances en diversos organismos (animal, vegetal y microorganismos), que son considerados importantes para el sector agropecuario y que pueden ser utilizados como modelos para el desarrollo de otras especies. En el caso del cacao, solanáceas, bovinos y microorganismos asociados, que son pilotos del presente programa, ya existe numerosa información de ciencias ómicas (v.g. secuencia de genomas, transcriptomas, proteomas, metabolomas) que sirven de referencia para la presente propuesta.

En el caso del cacao, hasta hace poco tiempo había sido considerado como un “cultivo huérfano”, por la poca investigación agrícola de la cual ha sido objeto en comparación con el maíz, trigo o arroz. Su creciente interés se debe principalmente a la importancia de la producción de cacao en la economía, pues se encuentra dentro de los 10 productos agrícolas más relevantes del mundo. De ahí que en noviembre de 2010, se había logrado completar en un 92% la secuencia de su genoma, con aproximadamente 35 mil genes, en un tiempo inferior a lo previsto (3 años menos). Esta iniciativa se ha llevado a cabo con el liderazgo de una empresa privada del sector del chocolate (MARS) junto con otros aliados de distintos países (USDA/ARS, IBM, Clemson University Genomics Institute, PIPRA Public Intellectual Property Resource for Agriculture, Hudson Alpha Institute for Biotechnology, National Center for Genome Resources, Center for Genomics and Bioinformatics at Indiana University y Washington State University). Este proyecto de secuenciación del genoma del cacao está generando una gran cantidad de datos: de transcripción, de mapas físicos y de polimorfismos de un sólo nucleótido (SNP, del inglés, Single Nucleotide Polymorphism), que se han hecho disponibles en el “Cacao Genome Database” (Cacao Genome Data, 2012).

El genotipo secuenciado Matina 1-6 es el representante genético más comúnmente encontrado en los países productores de cacao, permitiendo que los resultados puedan ser aplicados de forma inmediata y amplia a los cultivos comerciales actuales, en procura del beneficio de todos los involucrados a lo largo de la cadena de distribución, iniciando con los productores, y buscando modernizar la producción de cacao por métodos tradicionales de cruzamiento, a través de la disponibilidad de las más modernas herramientas genómicas para los genetistas y mejoradores del cacao en el mundo entero. Con el apoyo de MARS y de USDA-ARS, científicos de diversas regiones productoras de cacao en el África, Asia y América Latina reciben entrenamiento permanente en la utilización de herramientas genómicas y comienzan a beneficiarse de esta iniciativa (Mars, 2012).

Colombia posee colecciones de cacao finos donde seguramente el descubrimiento de nuevos alelos, proteínas o metabolitos lo pondrán en ventaja comparativa con el resto del mundo.

En lo que respecta a solanáceas, la red internacional SOL Genomics Network, representa un consorcio de más de 30 países para la investigación del genoma de las solanáceas desde 2004. El Consorcio Internacional de Secuenciación del Tomate (SOL) que hace parte de este proyecto, reúne recursos humanos y materiales en el estudio de ésta y otras especies de solanáceas (entre las que se incluye la papa, el pimiento y el tabaco), y cuenta con la colaboración de por lo menos 10 países (China, Corea, Reino Unido, India, Países Bajos, Francia, Japón, España, Italia, Estados Unidos, Argentina) cuyos centros y laboratorios seleccionados se encargaron de secuenciar un porcentaje del genoma total de esta especie con 12 cromosomas (Sol Genomics Network, 2012).

A partir de esta iniciativa, el Instituto de Biotecnología del INTA Castelar de Argentina, encargado de secuenciar el genoma de la mitocondria del tomate, conformó un consorcio regional llamado LAT-SOL, en el cual participan países latinoamericanos (incluyendo a Colombia) que trabajan en investigación con diferentes especies de solanáceas (Lat-Sol, 2012). El consorcio tiene un homólogo europeo llamado EU-SOL. Adicionalmente, alrededor del mundo también se encuentran otras iniciativas tales como AFRI-SOL, que se centra en el estudio de especies de solanáceas originarias del continente africano y SRCUK, que aglomera a la comunidad científica que se dedica al estudio de solanáceas en el Reino Unido (EU-Sol, 2012).

De forma similar, el Consorcio de Secuenciación del Genoma de la Papa ha completado la secuencia del genoma de esta especie (PGSC, 2011a). El PGSC, un equipo internacional de investigación en el que participa el Laboratorio de Agrobiotecnología del INTA Balcarce, fue concebido por la Universidad de Wageningen de Holanda en Enero del 2006, y pronto se convirtió en un consorcio global abarcando a 29 grupos de investigación de 14 países diferentes, entre ellos China, Estados Unidos, Chile, Brasil y Perú.

Los resultados de la secuenciación del genoma de esta solanácea han sido objeto de correcciones y ordenaciones, agrupándola en grandes ensamblados correspondientes a cromosomas e identificando aproximadamente el 95% de los genes estimados, mediante el uso de programas bioinformáticos específicamente desarrollados por el Instituto de Genómica de Beijing, uno de los socios del consorcio. El laboratorio de Agrobiotecnología del INTA Balcarce (Argentina) con fondos de origen público, ha contribuido en el marco del consorcio, generando y ensamblando las secuencias completas de los genomas citoplasmáticos (cloroplasto y mitocondrias) y secuencias específicas del cromosoma 3 y ha participado en la generación de un mapa genético para el anclado de las secuencias a los cromosomas. Así mismo, a través de un proyecto estratégico financiado por la OEA, ha aprovechado la participación en el Consorcio para el Fortalecimiento de Capacidades Regionales en Biotecnología y Genómica, conjuntamente con Brasil, Chile y Perú (PGSC, 2011 b).

En cuanto a la secuenciación del genoma de patógenos en plantas (v.g. *Fusarium oxysporum*, uno de los objetivos del presente programa), se tiene como referencia la secuenciación del fitopatógeno *Fusarium graminearum*, agente causal de la enfermedad denominada fusariosis de la espiga del trigo lograda en el 2003, realizado por aproximadamente 45 investigadores provenientes de 8 países. La iniciativa de la secuenciación y el análisis del genoma, fueron lideradas por la Universidad de Minnesota, en colaboración con el Broad Institute del Massachusetts Institute of Technology (MIT) y la Universidad de Harvard, todas en Estados Unidos. Además, contó con la participación de grupos de investigación pertenecientes a la Universidad de Córdoba (Andalucía, España). Existe una base de datos de genómica comparativa para *Fusarium* que permite el acceso a los múltiples genomas secuenciados simultáneamente, para facilitar el análisis comparativo entre especies estrechamente

relacionadas con este hongo patógeno. El proyecto comparativo de *Fusarium* hace parte de la iniciativa, Broad Fungal Genome, financiada por el U.S. Department of Agriculture, Cooperative State Research y el Education and Extension Service a través del NSF/USDA Microbial Genome Sequencing Program (Broad Institute, 2012).

Actualmente, existe una iniciativa coordinada entre varios grupos estadounidenses, europeos y japoneses cuyo objetivo es la secuenciación del genoma completo de la cepa 4287 de *F. oxysporum*. La colaboración internacional entre los laboratorios implicados ha sido, hasta el presente, una de las principales razones del éxito de la iniciativa genómica en *F. graminearum*. Dicha colaboración se está extendiendo también a *F. oxysporum* y ello permitirá utilizar al máximo su potencial para ampliar los conocimientos existentes sobre las bases moleculares de la patogénesis fúngica.

En América Latina, en el año 2005, México abrió sus puertas a la era post-genómica con la creación del Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad LANGEBIO, cuyo propósito es la secuenciación de genomas, que surgió como respuesta a la urgente necesidad de contar con infraestructura humana y física, que le permitiera al país poder estructurar ciencias ómicas para el desarrollo de la agricultura, con el decidido apoyo del Gobierno Federal y el Gobierno del Estado de Guanajuato. La capacidad instalada de secuenciación del LANGEBIO es de 260 millones de pares de bases por semana, lo que los posiciona como el laboratorio de mayor importancia en América Latina y a nivel competitivo con los mejores centros genómicos de Estados Unidos, Europa, Japón y China. Dentro de los proyectos desarrollados actualmente en este centro se encuentran: La secuenciación del genoma completo de *Bacillus coahuilensis*, del transcriptoma de *Trichoderma harzianum*, del transcriptoma del agave, del transcriptoma de *Deschampsia* sp., del genoma codificante del maíz, del genoma completo de *Trichoderma virens* en colaboración con el Joint Genome Initiative Institute de California y la Universidad de Texas A&M, y la secuenciación del transcriptoma del ají. Adicionalmente, se cuenta con la secuencia completa del genoma y transcriptoma de *Trichoderma atroviride* y el análisis de perfiles de expresión del mismo bajo diferentes estímulos (Langebio, 2012).

En Brasil, se encuentra el Laboratorio Nacional de Computación Científica del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT). La investigación en este laboratorio incluye desde genómica hasta biología de sistemas. Tiene a su cargo varios proyectos de genoma (Genoma Brasileño, Genoma del Sur, fijadores de nitrógeno, *Xylella* y *Burkholderia*), además de metagenomas, han desarrollado el software SABIA (System for Automated Bacterial genome Integrated Annotation) que ensambla, anota y compara los genomas de procariotas y eucariotas. El equipo también ha desarrollado varias bases de datos sobre diferentes temas (MamiBase, TaxVibrio, Probacter, BMRC, TractorDB, CTPedia, entre otros) disponibles en su sitio web (Laboratorio de Bioinformática, 2012).

Algunos de sus aliados son: el Instituto Suizo de Bioinformática (SIB), el Ludwig Institute for Cancer Research, MD Anderson Cancer Center, en la Universidad de Texas y la Université Claude Bernard Lyon 1, en Francia. El laboratorio de bioinformática, desde 2008, trabaja en estrecha colaboración con el Laboratorio de Genómica Computacional Darcy Fontoura de Almeida (UGC DFA), equipado con la secuenciación de ADN de siguiente generación - 454 GS FLX Genome Analyzer (Roche), este es un recurso multi-usuario que tiene como objetivo apoyar los proyectos de genómica en todo el país. También cuenta con el apoyo del Laboratorio de Biología Molecular de Julio Cascardo, el cual fue inaugurado en noviembre de 2010, que tiene un secuenciador Applied Biosystems 3130 - Analizador Genético y un *StepOne Real Time PCR System*. El objetivo principal de este nuevo laboratorio es cerrar los genomas secuenciados en el UGC DFA, así como validar, de forma experimental, la expresión de genes que se identifican con las herramientas de la bioinformática, que son de interés para la comunidad científica (Laboratorio de Bioinformática, 2012).

Brasil por intermedio de Embrapa, anunció en el 2004 una primera aproximación para secuenciar el genoma del café. Se analizaron 200.000 secuencias de ácido desoxirribonucleico (ADN) y se identificaron genes, que según los investigadores, encierran el secreto de su aroma y sabor (<http://www.cenargen.embrapa.br/biotec/genomacafe/>).

Los consorcios sobre genomas anteriormente mencionados constituyen sólo un ejemplo del trabajo en red para el eficaz logro de objetivos de Ciencia, Tecnología e Innovación. Si bien estos y otros consorcios establecidos en diferentes disciplinas y múltiples sistemas agropecuarios trabajan en una plataforma común, cada uno tiene objetivos específicos que responden a intereses estratégicos nacionales, regionales o mundiales. Su construcción ha sido fomentada por los cambios globales de la forma de hacer investigación científica y generar desarrollos a partir de ella. Se ha pasado del trabajo individual hacia el trabajo colectivo coordinado que requiere inversión en investigadores, financiación y esfuerzo de equipo para el logro de impactos que trascienden las naciones.

4.2.2. Antecedentes de capacidades técnicas de Colombia en bioprospección

Colombia cuenta con algunas experiencias como el Centro Colombiano de Genómica y Bioinformática de Ambientes Extremos GeBiX, el cual tiene como objetivo la conformación de una plataforma en metagenómica y bioinformática, para la caracterización y el aprovechamiento de recursos genéticos de ambientes extremos. Este Centro GeBiX, está compuesto por 14 grupos pertenecientes a 7 instituciones diferentes entre las cuales se encuentran universidades públicas y privadas, centros de investigación y un CDT.

Los grupos participantes tienen amplia experiencia en el campo de exploración biológica de ambientes extremos como ecosistemas de páramo y manantiales termales (Universidad Nacional de Colombia y Universidad Javeriana), en filogenética y caracterización de organismos (Universidad de Caldas, Universidad Javeriana), en estudios filogenéticos y de diversidad microbiana, y bioprospección (Universidad Javeriana, CorpoGen y Corpoica), en biología molecular y genómica (Universidad Nacional, CorpoGen, Universidad Javeriana, Universidad del Cauca, Universidad del Valle y Corpoica), en bioinformática (Universidad Javeriana, Universidad del Valle, Universidad del Cauca, Universidad de los Andes, ParqueSoft y Universidad de Manizales) y propiedad intelectual (Universidad Nacional). Es evidente entonces que esta propuesta reúne un grupo de personas expertas en campos que se complementan para llevar a cabo un trabajo multidisciplinario, con el propósito de crear un Centro para realizar estudios en ciencias genómicas y específicamente en metagenómica, orientado a la exploración de la diversidad microbiana.

Otro ejemplo es el Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas Medicinales Tropicales – CENIVAM, el cual es uno de los Centros de Investigación de Excelencia, articulados y financiados por COLCIENCIAS, con programas de trabajo comunes en diferentes áreas científicas y tecnológicas estratégicas para el país. Con la ejecución del proyecto “Estudio Integral de Especies Aromáticas y Medicinales Tropicales Promisorias para el Desarrollo Competitivo y Sostenible de la Agroindustria de Esencias, Extractos y Derivados Naturales en Colombia”, se busca generar el conocimiento científico-técnico, que sirva de soporte al desarrollo de la cadena de valor de las plantas medicinales y los aceites esenciales en el país, para producir bienes de valor agregado, teniendo como marco de referencia la responsabilidad con el medio ambiente y el interés continuo por alcanzar los máximos estándares de calidad, respaldados en el avance tecnológico y el talento humano. Esta unión temporal está conformada en total por 10 grupos de investigación provenientes de 5 universidades públicas (Universidad Industrial de Santander, Universidad de Antioquia, Universidad de Cartagena, Universidad Tecnológica del Chocó y Universidad Tecnológica de Pereira), una Fundación (Fundacofan) y 2 industrias privadas (Morenos Ltda. y Mane Sucursal Colombia).

El principal aporte que se persigue con el desarrollo de este proyecto, objeto de esta unión temporal, es la generación de conocimiento en diferentes áreas de la cadena productiva de aceites esenciales y derivados de extractos de plantas aromáticas y medicinales, una industria que ha mostrado crecimientos anuales del 10% a nivel mundial, y que puede dinamizar el desarrollo rural colombiano. La fundamentación científica y tecnológica que se busca alcanzar con este proyecto, está dirigida hacia la producción de bienes de alto valor, capaces de competir exitosamente con calidad y precios en los mercados nacional y mundial. En el proyecto se investiga la utilización de la síntesis orgánica, la catálisis heterogénea y la catálisis enzimática para lograr transformaciones químicas de componentes de aceites esenciales, en la

búsqueda de nuevos productos. Además de los experimentos que buscan detectar alguna bioactividad de interés en los extractos de plantas colombianas, el proyecto desarrolla concurrentemente el estudio de mercados y el diseño de planes de negocio, para complementar la asesoría técnica que se prestará a comunidades agrícolas, que decidan implementar esta agroindustria.

En Colombia, uno de los proyectos de genoma de plantas más destacados y que ha contado con financiación del gobierno es el del genoma de café liderado por CENICAFÉ. Está conformado por un equipo de investigadores capacitados de muy alto nivel en biología molecular aplicada al mejoramiento genético, entomología, fitopatología, bioinformática y fisiología vegetal. El proyecto genoma de café integra el estudio de la especie *Coffea arabica* L., de la broca (*Hypothenemus hampei*) y del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, fue sometido a aprobación del Departamento Nacional de Planeación y logró cofinanciación de parte del MADR a partir de 2003 (CENICAFÉ, 2003).

En este proyecto, los investigadores de CENICAFÉ se han integrado con investigadores de la Universidad de Cornell, la Universidad de Maryland y el IRD de Francia con el propósito de desarrollar nuevas variedades resistentes a plagas y enfermedades, con buenos atributos de calidad en taza, así como el desarrollo de mejores estrategias para el control de enfermedades y plagas, que permitan la disminución de los costos de producción y la sostenibilidad de la caficultura colombiana. El proyecto tiene como objetivo fundamental generar los conocimientos y las tecnologías que permitan la obtención de variedades con resistencia genética a la broca, principal plaga que afecta al café en el mundo. En Colombia afecta al 100% del área cultivada. Su impacto sobre la calidad del café, sobre los costos de producción y sobre el medio ambiente es incalculable.

En los años 80, se creó el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN) en la sede de Bogotá. Este instituto es una unidad académica de la Universidad que cumple con su responsabilidad de investigar, difundir, transformar, interpretar y crear conocimiento biotecnológico. Así mismo, tiene como misión generar y transferir dicho conocimiento en un ambiente interdisciplinario de investigación e innovación para la formación de recurso humano, beneficio social y aplicación productiva. Hace parte de la red de centros de desarrollo tecnológico en biotecnología y cuenta con el Centro de Bioinformática del mismo Instituto (CBIB).

Por su parte Corpoica en el año 2006, con el ánimo de proveer soluciones biotecnológicas innovadoras que le aporten valor agregado a las cadenas de producción priorizadas en el sector agropecuario colombiano, creó el Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB). El CBB lo conforman 8 laboratorios agrupados en tres unidades funcionales: a) Biología y Genética Molecular, b) Bioproductos y c) Calidad e Inocuidad. Estas unidades son apoyadas por la Unidad de Valorización

y Desarrollo Estratégico, la cual contribuye con la generación de valor en la investigación y con el posicionamiento de los desarrollos del CBB, en los mercados nacional e internacional. De igual forma, el CBB integra sus acciones con los otros 13 centros de investigación con los que cuenta CORPOICA a nivel nacional.

Algunos de los retos asumidos por el CBB son: i) Contribuir al aumento de la competitividad de la producción agropecuaria del país; ii) Desarrollar soluciones biotecnológicas para el manejo de plagas, enfermedades y mejoramiento de la calidad e inocuidad de los productos agropecuarios; iii) Reducir el riesgo que implica el uso no controlado de los productos sintéticos, y reemplazarlos por productos amigables con el ambiente y con la salud humana; iv) Apoyar la transferencia de las innovaciones; y v) Contribuir al conocimiento de los recursos genéticos de animales, vegetales y de microorganismos para la generación de estrategias de conservación, mejoramiento genético y uso sostenible de la biodiversidad.

Así mismo, como logros en investigación del CBB se destacan: i) Identificación de marcadores genéticos asociados a características de calidad de la leche y carne, así como resistencia a brucelosis en razas criollas; ii) Definición del perfil genético, control genealógico, flujo de genes entre poblaciones y estimación genética en razas bovinas criollas e introducidas; iii) Identificación de genotipos promisorios de frutales andinos como uchuva y especies relacionadas, con resistencia al marchitamiento vascular y mora con alta calidad agronómica, nutricional y funcional (nutracéutica); iv) Marcadores moleculares generados a partir de genes en frutales andinos y tubérculos de la familia Solanácea (uchuva, lulo, tomate de árbol y papa); v) Primer microbioma intestinal de *Tilapia niloticus*; vi) Primer metagenoma de suelos asociado al cultivo de plátano; vii) Primer transcriptoma foliar de uchuva secuenciado y anotado para genes de resistencia a patógenos; viii) Desarrollo de bioplaguicidas a base del hongo *Trichoderma koningiopsis* para el control de fitopatógenos del suelo y foliares; ix) Bioplaguicida a base del hongo *Lecanicillium lecanii* y de Baculovirus para el control de las moscas blancas (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci* y de la polilla guatemalteca de la papa, respectivamente; x) Biofertilizantes como Monibac a base de *Azotobacter chroococcum* y Rhizobiol a base de diferentes especies de *Rhizobium* y de *Bradyrhizobium* fijadores de nitrógeno. Así mismo, este centro ha licenciado tres tecnologías de formulación de bioplaguicidas a una empresa alemana y a una brasilera.

Desde el ámbito de formación de recurso humano en bioprospección y biotecnología, el país también cuenta con programas académicos como el creado en 1997 con la apertura del primer posgrado de Biotecnología, en la Universidad Nacional sede Medellín, el cual inició su primera cohorte en 1998 y ahora cuenta con más de 150 egresados, vinculados a distintas universidades y centros de investigación del país y muchos de los cuales ya han obtenido doctorado dentro o fuera del país. Las sedes de la Universidad Nacional en Bogotá y Medellín, iniciaron un doctorado en Ciencias en el área Biotecnología.

4.3. Deficiencias de Colombia para abordar los estudios en Bioprospección

La Dirección de Desarrollo Rural Sostenible del Departamento Nacional de Planeación (DDRS-DNP), en el segundo semestre de 2008, contrató una serie de consultorías para realizar estudios de diagnóstico del estado actual de la biotecnología, incluyendo un estudio de la situación actual de la genómica en Colombia. El estudio “Propuesta de Fortalecimiento de la Capacidad en Genómica en Colombia” presenta un análisis detallado de la relevancia de la genómica para el aprovechamiento de la biodiversidad y el desarrollo de la industria biotecnológica del país. Este documento analiza las consecuencias que el país puede enfrentar si no genera esta capacidad tecnológica.

En este estudio se define que:

- i. En Colombia la genómica es incipiente y está rezagada por mucho, cuando se compara con los países líderes (por ejemplo, Estados Unidos y Brasil). Su aplicación está limitada principalmente al área agrícola, con algunos avances en las áreas de biotecnología ambiental, animal y de salud humana. En contraste, la mayor parte de la investigación en genómica realizada en el mundo, se enfoca en salud humana, con particular énfasis en las enfermedades del primer mundo (por ejemplo, las degenerativas) y algún grado de investigación en enfermedades que afectan a los países en vías de desarrollo (por ejemplo, enfermedades infecciosas y parasitarias).
- ii. En la actualidad, existen varios proyectos en genómica con potencial de aplicación en agricultura, conservación ambiental, salud humana y diversas industrias. El desarrollo de la genómica en el sector agrícola colombiano es pobre y heterogéneo, limitado a algunos cultivos de interés comercial y a relativamente pocos grupos de investigación. En las otras áreas se desconoce la estrategia de tales proyectos para su utilización y, en consecuencia, no se han generado resultados que estén siendo explotados comercialmente.
- iii. Existen instituciones que aunque llevan a cabo investigación en diferentes áreas de la biotecnología, no han incursionado aún en genómica, pero “consideran importante” dicha “herramienta” para involucrarla dentro de sus actividades. Varias entidades desarrollan proyectos de análisis de diversidad genética, mediante la utilización de marcadores moleculares, otras tienen programas de selección asistida por marcadores. Sin embargo, varias de tales instituciones podrían verse beneficiadas con la información obtenida mediante la aplicación de genómica, en determinadas especies o en la resolución de problemas en sectores productivos o de salud.

Algunas de las razones que explican la subutilización de las ciencias ómicas en Colombia se describen a continuación:

- **Ausencia de recursos y políticas de Estado**

Aunque el país ha hecho esfuerzos para formar personal altamente calificado en áreas relacionadas con la biotecnología, aún se presenta un número limitado de doctorados y pocos ambientes propicios para su desarrollo como científicos e innovadores. Ciertamente, existen investigadores colombianos de calidad excepcional, pero la masa crítica en biotecnologías de punta como las ciencias ómicas o la bioinformática aún es escasa. Varias instituciones (de carácter público y privado) están interesadas en desarrollar o consolidar la biotecnología, en particular la genómica y la bioinformática, aunque paradójicamente no se brindan oportunidades (vacantes, capacitación y recursos de investigación), ni se definen políticas para el desarrollo profesional en sus áreas de especialización.

Con respecto a los recursos de financiación para el desarrollo de las ómicas, la bioinformática y otras biotecnologías, si bien existen iniciativas financiadas por el Ministerio de Agricultura y por COLCIENCIAS para el estudio de genomas de interés, como lo es el caso del genoma del café por parte de CENICAFE o el metagenoma de microorganismos de la unión temporal del Centro Colombiano de Genómica y Bioinformática de Ambientes Extremos - GeBiX, es imperativo que el país amplíe el escenario para éstas y otras iniciativas mediante el establecimiento de una visión a largo plazo con metas y entregables claros en el corto, mediano y largo plazo que haga parte de políticas de estado, no de gobiernos de turno, sostenible en el tiempo como lo han hecho otros países ejemplo del cono sur (v.g. Brasil).

En cuanto a políticas que fomenten el desarrollo de la genómica y la bioinformática, COLCIENCIAS ha liderado el tema. Aunque no se han concretado las directrices para el desarrollo de estas áreas, existe un interés estatal (COLCIENCIAS, DNP, MADR), por apoyar programas de investigación en estas disciplinas. Se debe establecer por lo consiguiente una política nacional que dé directrices, incentivos y mecanismos de financiación, que vinculen al sector empresarial y atraigan la inversión extranjera para el desarrollo de programas en genómica y posgenómica a largo plazo, con impactos en el sector agropecuario.

- **El restrictivo régimen común de acceso a recursos genéticos (Decisión Andina 391 de 1996)**

Una de las principales barreras para el desarrollo de la biotecnología en general y de las ciencias relacionadas con la bioprospección moderna como la genómica u otras ómicas en particular, está relacionada con la legislación de acceso a recursos genéticos vigente en Colombia (Decisión Andina 391 de 1996 y su regulación nacional), la cual actualmente se encuentra en revisión y ajuste, dadas las dificultades para su implementación en el país (CONPES 3697, 2011). Se requiere con urgencia que la legislación colombiana y la ley antitrámites permita la eficaz implementación de iniciativas de bioprospección y biotecnología del país.

- **Falta de institucionalidad en algunos sectores**

Es evidente que las instituciones organizadas y consolidadas son las que han incursionado en mayor medida en el desarrollo de la biotecnología y particularmente en el área de nuevas ciencias ómicas.

En Colombia, la biotecnología para el sector de la salud humana no se ha desarrollado de manera importante a diferencia de la tendencia mundial. Posiblemente, una razón para dicha situación podría estar relacionada con la falta de institucionalidad, pues no se reconoce una dependencia responsable de la investigación, específicamente en genómica y bioinformática, para el sector salud, siendo éste uno de los que más podría beneficiarse con la aplicación de dichas tecnologías, por ejemplo, en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades tropicales. El sector salud parece realizar investigación con iniciativas aisladas y no priorizadas. Además, los resultados generados no presentan la difusión necesaria.

En el sector agropecuario de Colombia existen especies (café, yuca, papa criolla, uchuva, bovinos, entre otras), en las cuales se ha incursionado en ciencias ómicas y bioinformática; algunas de estas especies han sido sujetas a mayores inversiones de tiempo y recursos como el café o la yuca y otras son más recientes como la papa criolla, la uchuva o el ganado bovino. Muchos cultivos pueden beneficiarse con el empleo de estas tecnologías, por ejemplo, cacao, caucho, frutales, flores, entre otros, las cuales deberían involucrarse dentro de sus prioridades de investigación y desarrollo con visión a largo plazo.

- **Baja eficiencia en servicios de tecnologías de punta a nivel nacional**

Desde la década de 1990, se asumió que la biotecnología se desarrollaría si las instituciones interesadas adquirían sus propios equipos. En Colombia, algunas entidades realizaron enormes inversiones en equipos, aún sin tener definidos los proyectos que requerían de dicha infraestructura y sin tener en cuenta las economías de escala. Desafortunadamente, algunas tecnologías como las de secuenciación de ADN para estudios en genómica y bioinformática evolucionan muy rápido y los equipos adquiridos se han vuelto obsoletos en muy corto tiempo al ser desplazados por el mercado mundial de tecnologías más eficientes. Esto aunado a los altos costos de mantenimiento y de operación, la calidad en términos de tiempo de respuesta, número de análisis de muestras, reproducibilidad de resultados, entre otros, han hecho que los laboratorios del país presenten baja competitividad cuando se compara con empresas internacionales en China o Corea, entre otros países.

Lo anterior indica que en Colombia, por lo menos en el corto y mediano plazo, es más eficaz acceder a los servicios internacionales de secuenciación del ADN para avanzar en biotecnologías de punta. En un mediano o largo plazo, en la medida en que la demanda del sector se incremente y se presenten alternativas para ofrecer

servicios más competitivos, posiblemente los servicios de secuenciación a nivel nacional tengan mayores oportunidades.

Un enfoque sólo de costo/efectividad, no debería obstaculizar el desarrollo de una tecnología robusta, prometedora con aplicación real en múltiples sectores y que añada valor a la biodiversidad. Por esta razón, es necesario definir una estrategia que permita incursionar en actividades robustas de genómica y bioinformática, aún sin ser autosostenibles a corto y mediano plazo; esta estrategia requiere para su sostenibilidad e implementación del acompañamiento e inversión del Estado.

Es importante y urgente que un país como Colombia desarrolle las ciencias ómicas y la bioinformática, pues permiten generar rápidamente y analizar de manera eficiente grandes cantidades de información. En la actualidad, la información se constituye en el insumo esencial para la innovación, el progreso tecnológico y la negociación del valor agregado de los productos o servicios de los sectores productivos. Así, el hecho de poder determinar secuencias completas de múltiples genes o proteínas, determinar su función, sus mecanismos de regulación e interacción, muestran un potencial enorme de aplicación en la solución de problemas tecnológicos, presentes en distintas áreas de interés para el país.

El que Colombia no desarrolle las ómicas y la bioinformática, se constituiría en una barrera para los desarrollos biotecnológicos del país. Además, incrementaría la brecha tecnológica y de productividad en sectores de permanente innovación. La reciente creación de los Centros Nacionales de Secuenciación Genómica y de Bioinformática y Biología Computacional, es un buen avance pero no es suficiente, si se quiere avanzar rápida y eficientemente en el tema.

De otra parte, si se tienen en cuenta los importantes avances que Colombia ha tenido en los últimos veinte años en materia de desarrollo de bioproductos a partir de microorganismos, tales como biofertilizantes, bioplaguicidas, aceleradores enzimáticos etc., además de la prioridad que el gobierno nacional le ha dado a este tema en los diferentes planes de desarrollo y CONPES, esta temática constituye una oportunidad para generar resultados en el corto y mediano plazo, que permitiría no solamente mejorar los estándares de la sanidad agropecuaria y de la inocuidad para mercados nacionales e internacionales, sino que le daría una posición competitiva tanto para la venta de los bioproductos desarrollados como al licenciamiento de las tecnologías relacionadas en mercados internacionales. Por lo tanto, es necesario fortalecer este sector para permitir nuevos desarrollos y para permitir la inserción de los productos desarrollados tanto en mercados nacionales como internacionales.

4.4. ¿Qué se propone con el proyecto de plataforma tecnológica?

Colombia necesita desarrollar otras locomotoras de la bioeconomía como lo ha hecho para café, de tal forma que a pesar de que se han realizado algunos esfuerzos por

incursionar en bioprospección y biotecnología modernas, se fortalezca una plataforma de capacidades de manera transversal para el programa de Agrobioprospección, con tecnologías ómicas de alta eficiencia (genes, compuestos bioactivos y microorganismos), infraestructura de laboratorios, invernaderos, campo y plantas piloto, y la consolidación de la red nacional de Agrobioprospección con aliados internacionales. Esto podría hacerse inicialmente en cadenas piloto con posibilidades de extenderse a otras cadenas de valor del sector agropecuario.

4.4.1. Objetivo y justificación

El programa de Bioprospección mediante el proyecto de plataforma tecnológica tiene como objetivo reunir las capacidades dispersas de Agrobioprospección del sector agropecuario colombiano. Para ello, es fundamental conocer y evaluar las capacidades internas que posee el país, pues este conocimiento es muy importante para la toma de decisiones y para el fomento de políticas de ciencia y tecnología para los sectores involucrados. El fortalecimiento de la capacidad científica regional puede lograrse impulsando la plataforma de capacidades que permita el trabajo en red.

En la primera etapa se desarrollaron como sectores piloto para el desarrollo regional: carne y leche bovina, solanáceas (papa y uchuva) y cacao. Sin embargo, es imperativa la inclusión de nuevos sectores con altos indicadores de impacto y factibilidad que representen otros intereses de desarrollo de las regiones. Estos se incorporarían a esta iniciativa mediante la plataforma tecnológica y la red de agrobiodiversidad nacional.

Colombia posee experiencia para trabajar en bioprospección, pero cuenta con una infraestructura incipiente para procesos de alta eficiencia, siendo necesario el fortalecimiento en equipos, áreas y talento humano. Lo anterior es importante, pues una mayor capacidad científica y tecnológica, permite aprovechar de una mejor forma las potencialidades de la bioprospección (Quezada, 2005). Los equipos y tecnologías deben estar disponibles para los laboratorios donde se realicen las actividades de ciencia y tecnología y deben ser de fácil acceso para los proyectos de las regiones que los requieran (Wisniewski, 2012, comunicación personal, abril 24 de 2012).

4.4.2. Tendencias en nuevas tecnologías aplicables a bioprospección

Una dirección muy evidente que debe implementarse en diferentes cultivos es el desarrollo de conocimiento básico y de insumos para conducir programas de mejoramiento genético y fitosanitario. Así, la secuenciación de genomas acoplado con el descubrimiento de nuevos genes y el desarrollo de marcadores moleculares de alta eficiencia (v.g. tipo Polimorfismos de un Sólo Nucleótido) para conocimiento de la diversidad genética y la genotipificación y fenotipificación de colecciones de

germoplasma son de muy alta prioridad. La base de datos GRIN de USDA es uno de los tantos ejemplos de este tipo de esfuerzos a nivel de país (USDA, 2012).

El gobierno federal de los Estados Unidos (USDA- ARS), está trabajando en conjunto con las universidades y la industria para definir los objetivos, la financiación y los recursos que se dedican a investigación y desarrollo agrícola. Esta es una forma eficiente para resolver problemas específicos o potenciar oportunidades, con el apoyo estatal e institucional, con fondos a mediano o largo plazo. Las donaciones o aportes pueden ser del orden de 8-10 millones de dólares para un proyecto específico. Todos los aportantes son reconocidos sobre una base competitiva. Por ejemplo, este gobierno fundó un gran proyecto llamado ROSeBREED el cual está desarrollando los insumos necesarios de siguiente generación (v.g. SNP chips, entre otros) para llevar a cabo mejoramiento asistido por marcadores en árboles frutales de rosáceas (manzana, pera, durazno, fresa) (Rosbreed, 2012).

USDA ha desarrollado software para bioinformática para conducir los análisis de secuencias genómicas y para la manipulación de datos correspondientes a grandes juegos de éstas secuencias, con el fin de realizar estudios de RNAseq, re-secuenciamiento de genotipos específicos o genotipificación por secuenciación (GBS) para análisis alélicos con marcadores tipo Polimorfismos de Un solo Nucleótido (SNPs), entre otros. Una de sus principales fortalezas es la habilidad para llevar árboles transgénicos al campo y para estudiar la función de los genes. Es decir, si tienen la capacidad de transformar tejidos de cerezas, manzanas y duraznos para genómica funcional (M. Wisniewski, comunicación personal, 2012).

Dado el avance frecuente de las tecnologías de secuenciación de siguiente generación se debe estar actualizado para aplicarlas de manera oportuna para el estudio de expresión diferencial de genes o la identificación de regiones del genoma asociadas con características de tipo cuantitativo, entre muchas otras aplicaciones. A manera de ejemplo, las tecnologías de genotipificación con marcadores SNPs han evolucionado rápidamente; es así como en la actualidad existen los SNP chips, la genotipificación por secuenciación (GBS) o el re-secuenciamiento de genomas como apoyo de estudios funcionales que permiten conocer cómo genotipos específicos responden a los estreses bióticos y abióticos y cómo estos pueden ser utilizados de forma eficaz para el mejoramiento genético de los cultivos (Elshire *et al.*, 2011; morrell *et al.*, 2012).

Un panorama similar ocurre con los estudios de proteómica y metabolómica. En este caso los sistemas biológicos permiten un mayor entendimiento de cómo las variantes genéticas y su expresión en determinados ambientes, conducen a un fenotipo específico y viceversa, de tal forma que se propende por enfoques de tipo más holístico o sistémico. En este sentido, la rigurosidad de la fenotipificación, está tomando gran importancia y recibiendo toda la atención. En todo este proceso, la vinculación de la bioinformática y la biología computacional que permiten procesar y dar sentido biológico a los millones de datos generados es imperativo.

Así, la genómica funcional intenta hacer uso de la enorme cantidad de datos provenientes de proyectos en secuenciación para determinar las funciones e interacciones de genes y proteínas. Algunas de las aproximaciones que se han utilizado con éxito en laboratorios de investigación incluyen la mutagénesis, el ARN interferencia (del inglés, RNAi) y el perfil de transcriptomas (del inglés, transcriptome profiling). Contar con tecnologías de alto rendimiento automatizados como sistemas de extracción y de cromatografía, es deseable para un programa de bioprospección. Estas técnicas requieren una infraestructura compleja y de costo elevado, que sólo es posible implementar parcialmente y a mediano plazo en Colombia.

De otro lado, la evolución reciente de la biotecnología, la nanotecnología y la tecnología de materiales, y su integración, ofrecen varias posibilidades, entre ellas los materiales estructurales ligeros y resistentes al medio ambiente, baterías y celdas de combustible nano-estructuradas, celdas basadas en biocombustibles, materiales y catalizadores energéticos y polímeros de captura de energía solar. Para el tratamiento de agua de consumo y aguas residuales las membranas catalíticas y sistemas de ultra-filtración, nanosorbentes, nanocatalizadores, partículas bioactivas, serán tecnologías cada vez más accesibles y menos costosas (Savage *et al.*, 2005).

El programa que se propone puede sacar provecho de la diversidad genética que existe en el país y trabajar tanto con tecnologías convencionales, como con tecnologías avanzadas y de alto rendimiento para producir los resultados esperados. Las alianzas con grupos de investigación internacionales son imperativas y van a permitir establecer colaboraciones y diseñar experimentos complejos que requieran tecnologías avanzadas que no sean factibles de tener en el país.

4.4.3. Análisis de equipamiento / tecnologías para bioprospección en Colombia

El siguiente análisis es el resultado de consultar a expertos nacionales en las áreas de genética molecular, proteómica, bioproductos, fitopatología y cultivo de tejidos sobre los equipos y las tecnologías con las que sería necesario contar para el desarrollo del programa de bioprospección en Colombia. Este análisis preliminar se debe complementar con un estudio de factibilidad que considere el número de usuarios potenciales, requerimientos de inversión en infraestructura y adecuación de laboratorios, costos de los equipos y del personal capacitado para su manejo y ventajas/desventajas comparativas, en los casos en que exista la opción de utilizar servicios y tecnologías disponibles en otros países.

- **Proteómica**

La proteómica busca definir la identidad, cantidad, estructura, función e interacciones de las proteínas y caracterizar las variaciones en distintos

contextos celulares. Algunas tecnologías ya existen en Colombia, como la cromatografía líquida y de gases y espectrometría de masas de acuerdo con la base de datos de equipos robustos de COLCIENCIAS. Otras tecnologías no se han implementado o no se conocen suficientemente, incluyendo los sistemas de expresión de proteínas que permiten la determinación de actividad bioquímica, la construcción de microarreglos, el estudio de interacciones (como el sistema de dos híbridos de levaduras, del inglés, *yeast two-hybrid system*, la co-purificación usando etiquetas de afinidad, del inglés *affinity tags*, entre otros) y la localización en compartimientos celulares. Proteómica, transcriptómica y metabolómica son estrategias complementarias (Phizicky et al. 2003, Jaime Cardozo – CORPOICA, comunicación personal).

- **Espectrometría de masas acoplada a HPLC**

HPLC-MS es una técnica analítica que combina la capacidad de hacer una separación física con cromatografía líquida (HPLC) y la capacidad de análisis de masas con espectrometría. Es una técnica altamente sensible utilizada para detectar e identificar compuestos químicos en mezclas complejas. Proporciona información precisa sobre peso molecular y estructura primaria de péptidos y proteínas. Puede determinar sitios específicos de modificación post-transduccional. Hay dificultades para analizar carbohidratos, ácidos nucleicos y complejos no covalentes y la incapacidad de distinguir estereoisómeros. Es una tecnología costosa y requiere personal con entrenamiento técnico y científico. Los grupos que han adquirido esta tecnología se encuentran en la base de datos de equipos robustos de COLCIENCIAS.

- **MALDI - TOF**

Del inglés, Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization (MALDI), es una técnica de ionización que permite el análisis de biomoléculas (biopolímeros como DNA, proteínas, péptidos y carbohidratos) y moléculas orgánicas grandes, que tienden a ser frágiles y a fragmentarse con métodos convencionales de ionización. Consiste en dos pasos, inicialmente ocurre desorción por láser UV y es seguida de ionización (protonación/deprotonación). En proteómica, esta técnica es útil en la identificación rápida de proteínas aisladas por electroforesis en gel (SDS-PAGE), cromatografía, intercambio iónico y marcaje con isótopos. La aplicación analítica más comúnmente usada es el de huella (por ejemplo, de péptidos), del inglés *fingerprinting*, con espectrómetros MALDI-TOF o tiempo de vuelo. Los espectros del MALDI-TOF permiten identificar con rapidez cualquier tipo de microorganismo, si se analizan con software especializado. Es un método más preciso y de menor costo que los métodos basados en reacciones bioquímicas o inmunológicas, y es probable que se convierta en el estándar para identificación microbiológica en los próximos años (Seng et al., 2009).

- **Genómica y transcriptómica**

Como insumo básico, es necesaria una capacidad instalada para extracción y visualización de ácidos nucleicos automatizada para aumentar la eficiencia y disminuir costos.

Colombia cuenta con el Centro de Secuenciación Genómica – CNSG inaugurado en 2010, ubicado en la Sede de Investigación Universitaria -SIU- de la Universidad de Antioquia, que ofrece servicios de secuenciación 454. El reto del CNSG, en el mediano plazo es consolidar a Colombia como líder regional en temas genómicos, así se podrán aprovechar de forma sostenible la biodiversidad y los recursos genéticos, en pro del desarrollo del país (Colciencias, 2012). Sin embargo, aunque el costo de los servicios es competitivo debido en gran medida al subsidio de Roche y del gobierno colombiano, este Centro no ha sido utilizado preferencialmente por los investigadores del país, en gran parte debido a que existen otros competidores que ofrecen nuevas ventajas.

Algunas insituciones nacionales también han obtenido recientemente equipamiento para secuenciación de última generación. Por ejemplo, la Universidad de los Andes adquirió un secuenciador Ion Torrent; CORPOICA adquirió un equipo de *Illumina Hi-Scan* para genotipificación vía SNPs - *chips* el cual puede ampliar su funcionalidad con una unidad de secuenciación. Dado que la tecnología MALDI-TOF es una de las tecnologías que ha mejorado significativamente el rendimiento y el costo de analizar marcadores SNPs (Pattemore et al., 2010), podría considerarse su adquisición en Colombia.

En general, las anteriores tecnologías requieren una inversión elevada, son tecnologías en desarrollo, y tienen la posibilidad de que se desactualicen a corto plazo. Su inversión es justificable en la medida en que tengan acceso los investigadores de distintas áreas, exista capacitación técnica y científica para asegurar la calidad y eficiencia, y se garantice presupuesto para su mantenimiento.

En este contexto, existen varias ventajas asociadas a utilizar servicios internacionales en el campo de las ómicas: alta calidad, velocidad en el procesamiento de las muestras, los costos disminuyen continuamente y esta tendencia se ha mantenido durante los últimos 10 años. Sin embargo, en la actualidad la posibilidad de usar servicios internacionales es limitada dadas las dificultades legales para enviar muestras al exterior y el alto costo en tiempo y dinero asociado a los trámites de permisos de investigación para acceso a recursos genéticos. Es por tanto imperativo para cualquier iniciativa de bioprospección que las regulaciones avancen eficientemente en paralelo con los desarrollos en ciencia y tecnología.

Tomando como ejemplo el USDA, en varios de sus centros regionales tienen la capacidad de desarrollar todos los protocolos fundamentales asociados a la biología

molecular o las ómicas: Clonación de genes, Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), PCR en Tiempo Real, genotipificación vía SNPs usando tecnologías de fusión (melting) de alta resolución (HRM), entre otras tecnologías. Realizan trabajos con radioisótopos y separación estándar de proteínas con electroforesis en una (1D) y dos (2D) dimensiones. Poseen HPLC y un FLPC acoplado a un GC-Mass Spec (espectrómetro de gases-masa), especialmente para los análisis hormonales. En grandes centros especializados disponen de MALDI-TOF, para análisis proteómico, microscopio confocal y otros equipos costosos y robustos.

- **Bioinformática**

Colombia requiere capacidad técnica para procesamiento de datos, análisis de secuencias, alineamientos múltiples, predicción de interacciones génicas, estructura y función de proteínas, nutragenómica, análisis de vías de señalización, vías metabólicas y metabolómica. Adicionalmente, es indispensable expandir la infraestructura de servidores, redes de comunicación que lleguen a zonas periféricas (para integrar el trabajo distribuido en distintas regiones), redes operacionales, centralización de la información (para evitar redundancia) y el acceso a herramientas bioinformáticas.

Se espera que el Centro de Bioinformática y Biología Computacional (CBBC) de Colombia cumpla algunas de las anteriores funciones. Este centro empezó a operar en 2012 en Manizales y fue creado mediante la alianza público – privada liderada por el Ministerio de TIC, COLCIENCIAS, MICROSOFT y un grupo de universidades de la zona cafetera. Es necesario entrenar investigadores que se beneficien de esta iniciativa y tengan capacidad para organizar y extraer información útil, de la enorme cantidad de datos provenientes de experimentos en genómica, transcriptómica, y proteómica, entre otros. (Mauricio Rodríguez – Director del CBBC, comunicación personal, 2012).

Colombia también cuenta con centros o unidades de bioinformática como la que opera en CENICAFE o en el Centro de Bioinformática en el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (CBIB) (CENICAFE, 2012). Este último ha centrado la implementación de herramientas bioinformáticas para su aplicación en los análisis propios de la investigación en biotecnología, siendo este tema de gran interés para investigadores de otras instituciones como el Instituto Suizo de Bioinformática (SIB, por su sigla en inglés), con el cual se han realizado cursos de proyección internacional en el área, y se han desarrollado proyectos conjuntos de investigación, tales como la creación de una base de datos para la colección de archivos de PROSITE, y la construcción de un sistema de manejo de bases de datos para un laboratorio de proteómica, desarrollados por medio de pasantías en Suiza. Recientemente, el CBIB es el nodo para Colombia de la Red Europea de Biología Molecular (EMBnet) (Universidad Nacional de Colombia, 2012).

Igualmente, otras Universidades y Centros de Investigación han venido fortaleciendo sus capacidades en bioinformática como la Universidad Javeriana, la Universidad de los Andes, CorpoGen y CORPOICA, entre otras. Más recientemente, se han creado nuevas empresas o redes como el GridBioinformatics y el PanAmerican Bioinformatics Institute, éste último con la participación de investigadores colombianos de universidades y centros de investigación como CORPOICA y de uno de los centros de bioinformática más robustos y con mayor número de usuarios en el mundo científico, el NCBI (del inglés, National Center for Biotechnology Information) de los Estados Unidos (Gridbioinformatics, 2012; PanAmerican Bioinformatics Institute, 2012).

De otro lado, Colombia también cuenta con la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada – RENATA, la cual conecta, comunica y propicia la colaboración entre las instituciones académicas y científicas de Colombia con las redes académicas internacionales y los centros de investigación más desarrollados del mundo. RENATA es administrada por la Corporación RENATA, de la cual son miembros las Redes Académicas Regionales, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y COLCIENCIAS. RENATA busca interconectar e incluir a todas las instituciones académicas y científicas del país, para fortalecer el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación (RENATA, 2012).

- **Microscopía confocal**

El microscopio confocal produce una imagen significativamente mejor que la de microscopios convencionales o de fluorescencia. Crea imágenes en dos dimensiones mucho más claras y detalladas y permite investigar estructuras en tres dimensiones. Es especialmente útil en investigación biológica para cuantificar procesos dinámicos, ya que está diseñado para capturar en video y en pequeña escala de tiempo, las imágenes de microscopía. También se ha utilizado ampliamente en experimentos de co-localización de biomoléculas, marcadores intra y extracelulares, interacciones proteínicas y cuantificación de fluorescencia (Semwogerere et al., 2005).

- **Tecnologías de formulación y escalamiento de bioproductos**

La producción de bioplaguicidas, biofertilizantes, probióticos y enzimas a gran escala requiere de biorreactores. Para desarrollar con éxito un bioproducto es necesario hacer una selección microbiana y establecer un sistema de producción masiva y de formulación que optimice sus condiciones de almacenamiento, estabilidad y utilización. La formulación de un bioproducto comercial debe tener en cuenta la vida útil, pureza, forma de utilización, estabilidad durante el transporte y rentabilidad económica.

El USDA dispone de un laboratorio en Peoria Illinois con grandes biorreactores para estudios de escalamiento de agentes biocontroladores y para hacer estudios de formulación (Wisniewski, 2012, comunicación personal).

4.4.4. Gestión de la capacidad científica y tecnológica de los investigadores en Bioprospección

Colombia es un país megadiverso, pero es muy poco lo que se ha utilizado de esta riqueza para el desarrollo del sector agropecuario y la generación de bienes y servicios biotecnológicos.

Los grupos de trabajo son poco articulados y los recursos físicos, de infraestructura y equipos están dispersos. Las regiones tienen desarrollos muy variables en su capacidad para investigar, innovar y lograr desarrollos tecnológicos que se traduzcan en mayor competitividad de los sectores agropecuarios y de sus regiones.

Muchos de los experimentos que se realizan por los investigadores en diferentes zonas, se hacen con diversas metodologías, y se obtienen resultados no comparables, lo que no permite obtener verdaderos avances sobre el conocimiento del problema y la solución del mismo. Es necesario organizar las redes de investigación y alimentarlas con criterios unificados en metodologías, para obtener resultados validados para las diferentes regiones del país e incrementar la masa crítica, que asegure un verdadero desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación.

En Colombia hay varios Centros de investigación y universidades públicas y privadas con amplia dotación y capacidades para adelantar investigaciones en tecnologías de punta, lo que permite establecer un programa nacional de capacitación para profesores, estudiantes de posgrado y pregrado e investigadores de universidades de las regiones, que tienen un menor desarrollo científico, pero que poseen un personal valioso, con grandes capacidades intelectuales. Este recurso humano requiere el acceso a pasantías, entrenamientos en metodologías, análisis de resultados, planeación de experimentos, entre otras herramientas requeridas en las investigaciones con énfasis en Bioprospección. Es necesario homologar metodologías para obtener resultados comparables en las diferentes zonas, y lograr conclusiones válidas para el país y por tanto generar conocimiento útil para el desarrollo del sector agropecuario.

Un ejemplo claro de trabajo articulado es el desarrollado por USDA –ARS, que cuenta con muchos laboratorios y especies objeto de investigación y desarrollo tecnológico. Además tiene una estrecha relación con numerosas universidades y aprovecha las ventajas de centros de servicios especializados en biotecnología, que están localizados en las universidades más grandes (Wisniewski, 2012). El tipo de tecnologías por utilizar, depende del tamaño y enfoque, de las facilidades y el número de programas y de la posibilidad para utilizar dichas tecnologías.

4.4.5. Recomendaciones

4.4.5.1 Recurso humano

La Plataforma Tecnológica pretende incrementar el aprovechamiento de la biodiversidad Colombiana en los sectores de alto impacto y alta capacidad técnica, mediante la formación de investigadores y entrenamiento de auxiliares de investigación motivados, para utilizar de manera adecuada los recursos biológicos de las diferentes regiones del territorio colombiano, los cuales están en uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo. Este entrenamiento estará dirigido a la investigación básica y aplicada, para la búsqueda de nuevas fuentes de organismos vegetales, animales, microorganismos, genes y moléculas, para que mediante su estudio (marcadores moleculares, selección asistida por marcadores, mapeo por asociación, fitopatología, fitomejoramiento, bioquímica, fitoquímica, bioinformática, multiplicación o escalamiento), puedan ser aprovechadas en bienes y servicios para la población colombiana y para la exportación a diferentes mercados internacionales, lo que contribuirá al desarrollo de las regiones y al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana.

El uso eficaz del recurso humano para la industria biotecnológica implica el fortalecimiento de las aptitudes de gestión y emprendimiento, rendición de cuentas y supervisión o auditoría. También debe haber recurso humano capacitado en el área de la conservación de los recursos naturales, la propiedad intelectual y el uso sostenible de la diversidad biológica, con metas ambiciosas dirigidas a la solución de problemas agrícolas críticos. Es necesario establecer un programa fuerte de transferencia de tecnología que soporte todos los elementos de la “cadena de valor”, desde la creación de tecnología hasta su comercialización, con una incubadora virtual que utilice el internet (Wilson, 2012).

La cadena de tecnología debe ser fortalecida, mediante un trabajo permanente en valorización y desarrollo estratégico como componente fundamental de cualquier iniciativa de investigación. Este grupo especializado debe analizar los impactos potenciales que tendrían los productos propuestos en los sectores productivos. Por lo anterior, es necesario acompañar a los investigadores desde la concepción de la idea de investigación, durante el desarrollo del proyecto y en la vinculación tecnológica de los productos que se generen. Esto último también implica unir a los investigadores con empresarios e inversionistas y acompañar los procesos que lleven al patentamiento y comercialización de sus tecnologías, sin perder de vista los obstáculos a superar en términos de recursos económicos a lo largo de la cadena de valor, desde la investigación básica hasta ventas y mercadeo. El programa debe estar enfocado en actividades de alto potencial para la industria y en trabajo multidisciplinario. Las oportunidades por explorar deben ser únicas para Colombia y todo esfuerzo debe realizarse para consolidar el sistema nacional de investigación, aprovechando alianzas internacionales que permitan agilizar procesos.

Es importante establecer directrices claras para el trabajo en redes, y un marco legal de Acceso y Beneficio (ABS) en bioprospección. Los investigadores deben estar atentos a identificar los valores agregados de sus tecnologías, conocer el producto y las demandas del mercado para el desarrollo exitoso de las nuevas tecnologías. Las aplicaciones deben estar enfocadas en función y actividad, antes que en encuestas y listas taxonómicas. Los investigadores deben tener un margen de libertad a la hora de realizar sus investigaciones que estimule la creatividad. La sostenibilidad es esencial y se debe realizar un cronograma muy específico, con directrices y objetivos estrictos, medibles y realistas (Rosales, Toledo, Wisniewski y Gill, 2011).

En este contexto la CEPAL dentro de su formulación de políticas sobre el desarrollo de recursos humanos en la Región Andina recomienda (Quezada *et al.*, 2005):

- Crear programas de capacitación basados en las necesidades actuales y futuras de la industria. Maximizar los conocimientos y las capacidades tecnológicas en toda la industria tradicional existente, que pueda desarrollar o aplicar la biotecnología en el futuro.
- Desarrollar, atraer, motivar y retener a los investigadores capaces, especialmente en aquellos campos en los que el país tiene potencial competitivo.
- Desarrollar una estrategia educativa integral desde la secundaria, con posibilidades adecuadas en las universidades y en las ciencias básicas relacionadas con biotecnología.
- Incorporar entrenamiento empresarial y comercial sobre biotecnología a los programas de instituciones educativas.
- Seguir explorando el desarrollo y la aplicación de programas de educación a distancia.
- Facilitar el regreso del exterior de los científicos y empresarios, aprovechando sus conocimientos especializados y su experiencia.

La propuesta del Megaprograma contempla que cada región establezca sus prioridades de acuerdo con sus capacidades técnicas para que los desarrollos generen alto impacto para dicha región. Con este Megaprograma de Bioprospección, mediante una serie de talleres y consultas con expertos nacionales e internacionales, se establecieron unas especies animales y vegetales con sus microorganismos asociados, con las cuales hay capacidad técnica demostrada a nivel nacional y que pueden generar alto impacto en la economía y en el desarrollo de las regiones. Estas especies se proponen como pilotos o modelos, para adelantar las actividades iniciales.

Objetivos de la plataforma en el recurso humano

1. Conformar una red de grupos de trabajo conformadas por investigadores nacionales e internacionales en Bioprospección, para maximizar la utilización de

los equipos de investigación y facilitarle a los investigadores el acceso a nuevas tecnologías. Recibir estudiantes de doctorado y maestría de alto perfil para desarrollar sus tesis en las entidades vinculadas al Megaprograma.

2. Consolidar grupos regionales de investigación y formación de nuevos investigadores en el estudio y utilización de biodiversidad, con relaciones fuertes con grupos internacionales, lo que garantizaría que los investigadores colombianos permanezcan actualizados y afiancen la cooperación y el uso compartido de los recursos. En ese sentido se recomienda: Para el proyecto bovino, crear consorcios con Texas A&M, el U.S. National Cattleman Association, el proyecto internacional HapMap y el Consorcio del genoma bovino. Para las solanáceas se recomendó que Colombia afiance su relación con los grupos claves de secuenciación y análisis de Solanáceas dentro del Consorcio Internacional de Secuenciación y Análisis. Los miembros de este grupo incluyen a James Giovannoni (US), Satoshi Tabat (Japon); Doil Choi (Korea del Sur); Sanwn Huang (CAAS, China); Akilesh Tyagi (ICPG, India); Giovanni Guiliano (ENEA, Italia); Antonio Gramell (España); Rene Lankhorst (Holanda); Mondher Bouzauen (INRA, Francia); Graham Seymour (U. of Nottingham, UK); Fernando Carrari (Argentina); y Dani Zamir (Israel). En cacao se recomendó consorcios con CIRAD en Francia y USDA, Betesville, USA.
3. Hacer un reclutamiento y entrenamiento de personal creativo. Capacitar profesores universitarios, investigadores, estudiantes de pre y posgrado, mediante entrenamientos específicos para desarrollar actividades en Bioprospección. En Colombia hay creatividad, formación de alta calidad y motivación en los investigadores y estudiantes. Un producto importante de la investigación es el entrenamiento y soporte de los jóvenes investigadores. Se debe continuar y extender las relaciones entre los centros de investigación y los centros de formación académica. El envío de estudiantes a centros internacionales de educación, permitirá el entrenamiento en las tecnologías necesarias para hacer investigación en Colombia y garantizará la competitividad del programa.
4. Facilitar la realización de años sabáticos para docentes e investigadores nacionales en Centros internacionales de alto nivel. Desarrollar un ambiente creativo, que incite a la innovación.
5. Capacitar a los investigadores de las regiones que lo requieran, para estructurar proyectos de investigación.
6. Asesorar a los grupos que lo requieran en el montaje de Infraestructura: Laboratorios, plantas piloto e invernaderos, así como en la adquisición de equipos que le sirvan al propósito del Megaprograma.

7. Integrar la Plataforma de Agrobioprospección de alta capacidad para la búsqueda de genes, compuestos bioactivos y microorganismos y sus aplicaciones.
8. Asesorar a las entidades regionales en conservación de recursos biológicos *ex situ* y caracterización para uso potencial.
9. Integrar un esquema de traducción y edición de publicaciones científicas que permita someter los resultados de investigación generados a revistas de alto impacto.
10. Crear un grupo de apoyo en valorización de tecnologías y su transferencia, con interconectividad desde el descubrimiento hasta su comercialización a lo largo de la cadena de valor: Investigación básica (descubrimiento), identificación de posibilidades (aplicaciones potenciales), validación de la tecnología (prueba de concepto, pruebas piloto, desarrollo de productos, ventas y mercadeo). Se requiere de personal suficiente para asistir a los científicos en el proceso mismo de transferencia de tecnología, el cual incluye una guía en el patentamiento y licenciamiento de la tecnología. Debe haber suficiente financiación durante la optimización de tecnologías en la “Cadena de Valor”, para evitar que muchas tecnologías, terminen en un Valle de la Muerte “Death Valley” y para garantizar que se puedan patentar o proteger adecuadamente los resultados y explotar económicamente para financiar nuevos emprendimientos.

4.4.5.2. Recursos de infraestructura básica para las regiones

La existencia de infraestructura básica, como aeropuertos, puertos marítimos, carreteras, energía eléctrica y abastecimiento de agua y telecomunicaciones es fundamental para la aplicación de cualquier tecnología. Aunque Colombia dispone de una red eléctrica razonablemente eficiente en los grandes centros urbanos, en las zonas periféricas las fallas del sistema eléctrico continuamente obstaculizan el funcionamiento de plantas, fábricas y centros investigativos. El diseño de celdas solares que utilizan nanomateriales, así como aquellos que utilizan polímeros que imitan procesos biológicos, ya están produciendo artefactos altamente eficientes y económicos. Por otra parte, los avances en tecnología de baterías, en particular, las baterías de alta energía y densidad que utilizan nanopartículas y nanoestructuras, tienen el potencial de proporcionar a bajo precio y a pequeña escala la capacidad de almacenamiento necesaria para distribuir a los colectores. La disponibilidad de las comunicaciones inalámbricas, además de facilitar el desarrollo económico, podría tener un gran impacto en la sociedad a través de la rápida difusión de información e ideas, en el caso de este Megaprograma para la integración de la Red y para la comunicación en la conducción de los experimentos en campo, por la facilidad de supervisión y transferencia inmediata de los datos (Departamento Nacional de Planeación, 2010).

4.4.5.3. Laboratorios, casas de malla y ambientes protegidos (invernaderos)

Es importante planear la construcción de nuevos laboratorios e invernaderos, teniendo en cuenta los conceptos de infraestructura auto-suficiente, de tal forma que funcionen con autonomía en lo que se refiere a filtros y catalizadores de agua, y a energía para calefacción, refrigeración y funcionamiento de equipos especializados. Esta tecnología podría incrementar el uso eficiente de los recursos locales, bajar el costo y mejorar la calidad y velocidad a la que se desarrolla la investigación. Podría contribuir a aliviar los problemas derivados de fallas frecuentes en las redes eléctricas y otras emergencias, de acceso a agua potable de buena calidad y otros servicios que dependen del Estado. (Silberglitt *et al.* 2006).

Savage y colaboradores (2005) señalan varias posibilidades para materiales estructurales ligeros y resistentes al medio ambiente, baterías y celdas de combustible nano-estructuradas, celdas basadas en biocombustibles, materiales y catalizadores energéticos y polímeros de captura de energía solar. Para el tratamiento de agua de consumo y aguas residuales las membranas catalíticas y sistemas de ultra-filtración, nanosorbentes, nanocatalizadores, partículas bioactivas, serán tecnologías cada vez más accesibles y menos costosas.

Los invernaderos existentes en muchas Universidades y centros de Investigación requieren una adecuación total ya que presentan problemas estructurales, en el sistema eléctrico y en el sistema de calentadores y ventiladores. El presupuesto asignado para mantenimiento es deficiente. Es necesario evaluar los costos para construir o adecuar una batería de invernaderos en las diferentes regiones que funcione como una unidad independiente y centralizada con uno o varios técnicos encargados de manejo y mantenimiento. Se debe hacer una clara asignación del espacio y definir un presupuesto para gastos de mantenimiento, que en el caso de invernaderos son considerables.

Entidades como CORPOICA en algunas de sus sedes cuentan con invernaderos altamente tecnificados o con viveros polisombra. Es necesario que los investigadores que participen en el Megaprograma puedan tener acceso a los invernaderos de que dispone el país, o que se construyan éstos para permitir la evaluación de genotipos y para hacer los bioensayos que se requieran para el desarrollo de bioproductos. Dichos invernaderos deben ser diseñados de acuerdo con las necesidades y condiciones de cada región.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen K. (2011) The Civets: a guide to the countries bearing the world's hopes for growth. En: The Guardian. Sunday 20 November 2011. [on line]. [Referent Date: Agosto de 2012]. From: <http://www.guardian.co.uk/business/2011/nov/20/civets-guide>
- Broad Institute (2012) Fusarium Comparative Database. [Referent Date: Agosto de 2012]. From: http://www.broadinstitute.org/annotation/genome/fusarium_graminearum/MultiHome.html
- Cacao Genome Data (2012) The genomics, genetics and breeding resource for cacao improvement The Genomics, Genetics and Breeding Resource for Cacao Improvement. [on line]. [Referent Date: agosto de 2012]. From: <http://www.cacao genomedb.org>.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE) (2003) Resumen del Informe Anual de Actividades de CENICAFÉ 2002 – 2003. Edit. Blanecolor Ltda. Manizales. 173 p.
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE)(2012) CenicafeBioinformatics. [on line]. [Referent Date: Septiembre de 2012]. From: <http://bioinformatics.cenicafe.org/>.
- Colciencias (2012) Sistema General de Regalías. [en línea]. [Fecha de consulta: Septiembre de 2012]. Disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/noticias/se-inauguro>.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación (2011). CONPES de Biotecnología 3697 - Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. República de Colombia. 36 pp.
- Departamento Nacional de Planeación - Dirección de Desarrollo Rural Sostenible (2008) Propuesta de Fortalecimiento de la Capacidad en Genómica en Colombia. [en línea]. [Fecha de consulta: Septiembre 29 de 2012]. Disponible en: <http://docs.politicascsti.net/reports/CO.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (2010) Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. [en línea]. [Fecha de consulta: Agosto de 2012]. Disponible en: <http://www.dnp.gov.co/PND/PND20102014.aspx>.
- Duarte OA (2009) A bioprospeção na Colômbia: um exemplo de conflito entre as capacidades de ciência e tecnologia e o marco regulatório. Campinas, Brasil, 169 pp. Tesis de Doutor em Política Científica e Tecnológica. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.
- Elshire RJ, Glaubitz JC, Sun Q, Poland JA, Kawamoto K, Buckler ES, Mitchell SE. (2011) A robust, simple genotyping-by-sequencing (GBS) approach for high diversity species. *PLoS One* 6(5): e19379.
- EU-Sol (2012) [on line]. [Referent Date: agosto de 2012]. From: www.eu-sol.net/.
- Gridbioinformatics (2012) [on line]. [Referent Date: Septiembre de 2012]. From: <http://www.gridbioinformatics.com/>.
- Laboratorio de Bioinformática-Labinfo (2012) [on line]. [Referent Date: agosto de 2012]. From: <http://www.labinfo.incc.br/>.
- Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad-Langebio (2012) [en línea]. [Fecha de revisión: agosto de 2012]. En: <http://www.langebio.cinvestav.mx>.
- Lat-Sol (2012) [on line]. [Referent Date: agosto de 2012]. From: cnia.inta.gov.ar/lat-SOL
- Mars, (2012) Sustainable Cocoa Initiative, [on line]. [Referent Date: agosto de 2012]. From:

- <http://www.mars.com/global/commitments/sustainability/cocoa-sustainability.aspx>.
- Melgarejo LM, Sánchez J, Chaparro A, Newmark F, Santos M, Burbano C, Reyes C (Eds) (2002a) Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Invemar. 334p.
- Melgarejo LM, Sánchez J, Reyes C, Newmark F, Santos M (2002b) Plan nacional en Bioprospección continental y marina (propuesta técnica). Universidad Nacional de Colombia, Invemar. 122pp.
- Morrell PL, Buckler ES, Ross-Ibarra J. (2012) Crop genomics: advances and applications. *Nature Review Genetics* **13**:85-96.
- Neumann K, Quaggiotto G (2005) ABS Capacity Development and the Central Asia and Mongolia Bioresources and Biosecurity Network. In: Work in Progress. United Nations University. 17(2): 33-35. [on line]. [Date reerence: Agosto 16 de 2012]. From: <http://archive.unu.edu/hq/ginfo/wip/wip17-2-summer 2005.pdf>.
- PanAmerican Bioinformatics Institute (2012) [on line]. [Referent Date: Septiembre de 2012]. From: <http://panambioinfo.org/>
- Pattimore J A, Rice N, Marshall DF, Waugh R, Henry R J (2010) Cereal variety identification using MALDI-TOF mass spectrometry SNP genotyping. In: *Journal of Cereal Science*, 52 (3): 356-361.
- Phizicky E, Bastiaens P, Zhu H, Snyder M, Fields S (2003) Protein analysis on a proteomic scale. In: *Nature Biotechnology*. 422(13).
- Potato Genome Sequencing Consortium (PGSC) (2011a) Potato genome. [on line]. [Referent Date: Septiembre de 2012]. From: www.potatogenome.net.
- Potato Genome Sequencing Consortium (PGSC) (2011b). El Genoma completo de la papa publicado en la revista Nature. [en línea]. [Fecha de consulta: Septiembre de 2012]. Disponible en: http://www.potatogenome.net/images/2/29/PGSC_Press_Release_0711_AR.pdf
- Quezada, F., Roca, W., Szauer, M.T., Gómez, J.J., López, R. (2005) Biotecnología para el uso sostenible de la biodiversidad. Capacidades locales y mercados potenciales. CAF-CEPAL. Caracas. Venezuela. 114 p. ISBN980-6810-03-1
- Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada – RENATA (2012)[en línea]. [Fecha de consulta: Septiembre 14 de 2012]. Disponible en: <http://www.renata.edu.co/>.
- Rosales, Toledo, Wisniewski , Gill (2011) En: Wilson (2011). Executive Summary: Bioprospection for the Development of the Agricultural Sector in Colombia. *Workshop for the Colombian Bioprospecting Agenda*
- Rosales, Toledo, Wisniewski , Gill (2011) En: Wilson . Informe
- Rosbreed (2012) [on line]. [Referent Date: Septiembre de 2012]. From: (<http://www.rosbreed.org/>)
- Savage N, Diallo MS (2005) Nano materials and water purification: Opportunities and challenges. En: *Journal of Nanoparticle Research* 7: 331–342.
- Semwogerere D, Weeks ER (2005) "Confocal Microscopy". In: Taylor, Francis (2005) *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering*. Emory University, Atlanta, Georgia, U.S.A.
- Seng P, Drancourt M, Gouriet F, La Scola B, Fournier PE, Rolain JM, Raoult D (2009). Ongoing

- revolution in bacteriology: routine identification of bacteria by matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry. In: *Clin Infect Dis.* 49 (4): 552–3.
- Silberglitt R, Anton P, Howell D, Wong A, Gassman N, Jackson B, Landree E, Pfleeger S, Newton E, Wu F (2006) *The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses, Bio/Nano/Materials/Information Trends, Drivers, Barriers, and Social Implications.* RAND corporation. Santa Monica. 281 p. ISBN 0-8330-3975-X
- Sol Genomics Network (2012) [on line]. [Referent Date: agosto de 2012]. From: <http://solgenomics.net/>
- Swiderska K (2001) Stakeholder Participation in Policy on Access to Genetic Resources, Traditional Knowledge and Benefit Sharing. Case studies and recommendations. *Biodiversity and Livelihoods Issues*, No 4. IIED. [on line]. [Referent Date: Agosto 16 de 2012]. From: <http://pubs.iied.org/pdfs/9096IIED.pdf>
- The tomato genome consortium (2012) The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution. *Nature* 485, 635–641.
- Tobin B (2005) Biodiplomacy – Bringing “Life” to International Negotiations. In: *Work in Progress.* 17(2). [on line]. [Referent Date: Septiembre de 2012]. From: <http://archive.unu.edu/hq/ginfo/wip/wip17-2-summer2005.pdf>.
- United State Department of Agricultura –USDA (2012) Germplasm Resources Information Network. [on line]. [Referent Date: Septiembre de 2012] From: <http://www.ars-grin.gov/>.
- Universidad Nacional de Colombia (2012) Centro de Bioinformática del Instituto de Biotecnología C.B.I.B. [en línea]. [Fecha de consulta: Agosto 16 de 2012]. Disponible en: <http://bioinf.ibun.unal.edu.co/cbib>.
- Wilson C (2011) Executive Summary: Bioprospection for the Development of the Agricultural Sector in Colombia. *Workshop for the Colombian Bioprospecting Agenda*
- Wisniewski. Entrevista Personal. United State Department of Agriculture USDA. USA, abril 24 de 2012.

CAPÍTULO

5

**PROYECTOS TÉCNICOS
PARA IMPLEMENTACIÓN
DE LA PRIMERA FASE DEL
MEGAPROGRAMA DE
BIOPROSPECCIÓN**

Como producto de los talleres de orden nacional e internacional y la posterior socialización en las regiones (capítulos 2 y 3), se desarrolló un proyecto de Plataforma Tecnológica descrito en el capítulo 4 con carácter transversal y cuatro proyectos de tipo técnico como pilotos del Megaprograma Nacional de Agrobioprospección para el sector Agropecuario del País. Cada uno de los proyectos técnicos fue desarrollado con base en la demanda, objetivos, actividades, productos, mercado y justificación. Adicionalmente, para cada proyecto se desarrollaron seis criterios generales de selección en concordancia con los lineamientos de la *Ficha para selección de Megaprogramas sujetos de financiación de estudios de factibilidad - Fondo de CT&I* del Ministerio de Hacienda descritos en el capítulo 2. Estos corresponden a tres criterios de factibilidad: i) Avance en diseño - Estado del Arte, ii) Sensación de apoyo Departamental y iii) Riesgo Moderado - Generación de Valor y tres criterios de impacto: i) Socio-Económico – Sensación de TIRec (Tasa Interna de Retorno económico), ii) Fortalecimiento SIN (Sistema de Innovación Nacional) - Desarrollo de Colombia y iii) Efecto Demostrativo – CTI (Ciencia, Tecnología e Innovación) para resolver problemas, calificados de 0 a 4.

5.1. Proyecto piloto: producción de carne y leche bovina con calidad nutracéutica y organoléptica para el mercado nacional e internacional

Fernando Rodríguez ^{2*}, Andrés Rodríguez ², Clare Gill ⁹, Claudia Ariza ², Gerardo Toledo ¹⁰, Hernando Flórez ¹¹, Hugo Rodolfo Jiménez ², Jaime Cardozo ², Juan Carulla ¹, Juan Manuel Anzola ⁸, Lorena Mestra ², Manuel Fernando Ariza ¹, Olga Lucia Mayorga ², Reinel Flórez ², Rodrigo Martínez ², Rolando Barahona ¹², Steinar Bergseth ¹³, Xavier Fargetton ²

5.1.1. Ganadería de carne

5.1.1.1. Demanda

Mejorar la calidad organoléptica y nutracéutica de la carne y de la leche bovina producida en el país, en relación a la proporción de ALC (Ácido Linoléico Conjugado) y reducción de la excreción de contaminantes con énfasis en gases de efecto invernadero en los sistemas de producción pecuaria.

5.1.1.2. Objetivo

Producir y comercializar carne y leche bovina con calidad nutracéutica, organoléptica y sanitaria para el mercado nacional, que promueva la salud y genere bienestar al consumidor con responsabilidad hacia el medio ambiente y la ecología haciendo uso de la biodiversidad nacional.

5.1.1.3. Objetivos específicos

1. Definir la línea base actual de los sistema de producción de carne y leche bovina en Colombia, con estimaciones del uso de insumos, excreción de nutrientes y calidad organoléptica y nutracéutica.
2. Establecer una red de laboratorios especializados para la evaluación de calidad y potencial nutracéutico en los productos pecuarios disponibles al consumidor, a través del desarrollo de ensayos *in vitro* e *in vivo* de las materias primas y aditivos.
3. Implementar en los sistemas de producción bovina estrategias de manejo desde la alimentación con el fin de reducir los costos de producción, mejorar la calidad organoléptica y nutracéutica de la carne bovina y/o reducir la excreción de contaminantes con énfasis en gases de efecto invernadero
4. Evaluar forrajes de alta calidad nutricional identificados que produzcan menores

*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. frodriguez@corpoica.org.co
Ver información de autores en el Anexo 1

emisiones de metano entérico y contribuyan a una mayor oferta de precursores de ALC en carne y leche.

5. Desarrollar y formular aditivos funcionales a base de metabolitos secundarios, microorganismos y/o macromoléculas que permitan mejorar la productividad y salud animal, que modulen el microbioma ruminal y disminuyan las emisiones de metano, con valor agregado en términos de calidad de carne y leche.
6. Identificar animales con los acervos genéticos que permitan producir eficientemente bajo las condiciones del trópico, con especial atención a la calidad nutricional y funcional de los productos y la excreción de contaminantes.

5.1.1.4. Actividades

Desarrollo de estrategias nutricionales y de manejo a través de la bioprospección en los diferentes sistemas de producción de carne y leche bovina seleccionados en el país para establecer y definir los índices de calidad nutracéutica y del metano emitido por kg de carne y de litro de leche producido.

1. Caracterizar en 100 fincas seleccionadas en el país la línea base actual del sistema ganadero colombiano incluyendo estimaciones de uso de insumos, excreción de nutrientes y calidad organoléptica y funcional de la carne y la leche bovina producida.
2. Establecimiento de una red de laboratorios especializados en biodisponibilidad, excreción de nutrientes y emisiones de gases de efecto invernadero; para la evaluación de calidad y potencial nutracéutico de materias primas y aditivos ofrecidos a los bovinos y en los productos pecuarios (carne y leche) disponibles al consumidor.
3. Desarrollo de estrategias desde la alimentación con el fin de reducir los costos de producción para mejorar la calidad organoléptica y nutracéutica de los productos pecuarios (carne y leche) y/o reducir la excreción de contaminantes con énfasis en gases de efecto invernadero.
4. Desarrollo y formulación de aditivos funcionales a base de metabolitos secundarios, microorganismos y/o macromoléculas que permitan mejorar la productividad, modular el microbioma del rumen animal para disminuir las emisiones de metano, con valor agregado en términos de calidad nutracéutica y organoléptica de carne y leche.
5. Identificación de animales con los acervos genéticos relacionados a la calidad nutricional y funcional de los productos y a la excreción de contaminantes.

5.1.1.5. Productos esperados

1. Producir carne y leche, organoléptica y evaluaciones *in vivo* e *in vitro* de productos, materias primas y aditivos funcionales utilizados en sistemas de producción bovino.

2. Un atlas de nutrición mineral para las grandes cuencas ganaderas de Colombia de producción de carne.
3. Dos forrajes identificados por su elevada oferta de precursores de ALC (uno en trópico bajo y otro en trópico alto).
4. Dos forrajes identificados por su menor potencial metanogénico.
5. Cuatro materiales vegetales con metabolitos secundarios que modulen el ecosistema ruminal y reduzcan la metanogénesis en fermentaciones entéricas.
6. Un aditivo funcional a base de aceites esenciales de especies vegetales con potencial de modular el ecosistema ruminal y disminuir las emisiones de metano entérico.
7. Un suplemento basado en aceites obtenidos de oleaginosas nativas que permitan mejorar la calidad organoléptica nutracéutica y funcional de los productos pecuarios.
8. Un probiótico para mejorar el peso al destete, y/o para disminuir la mortalidad y la morbi-mortalidad en terneros.
9. Estimación del valor agregado del precio por kilo de carne o litro de leche por parte del productor asociado al conocimiento de los contenidos de productos benéficos para la salud humana.
10. Carne y leche ricas en compuestos bioactivos benéficos para la salud humana haciendo uso de la biodiversidad nacional a través del desarrollo un suplemento basado en aceites obtenidos de oleaginosas nativas y caracterizados para aumentar la acumulación de ALC y/o mejorar la relación Omega 6 : Omega 3 y de ácidos grasos saturados : insaturados en los productos pecuarios.

5.1.2. Ganadería de leche

5.1.2.1. Demanda

Producción de leche con calidad nutracéutica, organoléptica y sanitaria en mercados nacionales que promuevan la salud y generen bienestar al consumidor con responsabilidad hacia el medio ambiente y la ecología haciendo uso de la biodiversidad nacional.

5.1.2.2. Objetivo

Producir y comercializar leche con calidad nutracéutica, organoléptica y sanitaria para el mercado nacional, en relación a la concentración de compuestos con efectos benéficos sobre la salud humana y a través de la optimización del uso de materias primas y recursos forrajeros disponibles en los sistemas de producción.

5.1.2.3. Objetivos específicos

1. Evaluar forrajes con mayor oferta de precursores de ALC en sistemas de producción de leche del país.
2. Desarrollar un sistema de alimentación para los sistemas de producción de leche en trópico alto y trópico bajo del país que incluya estimaciones de uso de insumos, excreción de nutrientes y calidad organoléptica y funcional de la leche.
3. Estudiar de manera participativa (productores-investigadores) las condiciones de manejo de pastos (fertilización, edad de corte) sobre las concentraciones de ALC y/o estrategias que permitan mejorar la relación Omega 6 : Omega 3 y de ácidos grasos saturados : insaturados en la leche.
4. Estudiar la adición de fuentes y niveles de suplementación regional y/o local (niveles de suplementación) de grasas y aceites a la ración de vacas lecheras sobre las concentraciones de sólidos totales, y ácidos grasos de importancia para la salud humana.
5. Determinar los tipos de marcadores moleculares (genes y/o proteínas-péptidos asociados a la calidad de la leche obtenida en relación al grupo racial considerado.
6. Determinar el efecto del sistema de alimentación implementado sobre la composición y dinámica de poblaciones microbiales ruminales relacionadas con los precursores de ALC y ATV (Ácido Trans-vaccénico) y la producción de metano.
7. Desarrollar estrategias desde la alimentación con el fin de optimizar los recursos disponibles, reducir los costos de producción y mejorar la calidad organoléptica y nutracéutica de la leche y sus productos derivados.
8. Aumentar el contenido promedio de ALC y ATV (expresados en g/100 g de lípidos totales) y/o reducir la excreción de contaminantes con énfasis en gases de efecto invernadero

5.1.2.4. Actividades

Desarrollo de estrategias operacionales, nutricionales y de manejo a través de la bioprospección en los diferentes sistemas de producción de leche bovina seleccionados en el país para establecer y definir los índices de calidad nutracéutica de la leche bovina y del metano emitido por kg de de leche producida.

1. Establecimiento de una red de laboratorios especializados en biodisponibilidad, excreción de nutrientes y emisiones de gases de efecto invernadero; para la evaluación de calidad y potencial nutracéutico de materias primas, aditivos y recursos forrajeros utilizados en los sistemas de producción de leche.
2. Desarrollo de un sistema de alimentación bovino conducente a mejorar la calidad nutricional-nutracéutica de la leche en sus sólidos totales y la concentración de ácido linoleico conjugado (ALC) y OMEGA 3.
3. Determinar las condiciones de manejo de pasturas (fertilización, edad de corte)

en las regiones del país que influyen en la acumulación de ALC-ATV y sus precursores en vacas lecheras.

4. Estudiar la adición (niveles de suplementación) de grasas y aceites de origen vegetal a la ración de vacas lecheras sobre las concentraciones de sólidos totales, ácido transvaccénico (ATV) y ácido linoleico conjugado (ALC) en la leche, privilegiando las fuentes de suplementación locales.
5. Determinar los tipos de marcadores moleculares (genes y/o proteínas-péptidos) asociados a la calidad de la leche obtenida en relación al grupo racial considerado.
6. Determinar el efecto del sistema de alimentación implementado sobre la composición y dinámica de poblaciones microbianas ruminales asociadas a las rutas ATV-ALC y a la producción de metano.
7. Formular y transferir un sistema de alimentación para elevar la calidad composicional (nutricional y nutracéutica) para vacas lecheras del trópico alto y trópico bajo Colombiano.

5.1.2.5. Productos esperados

1. Metodologías y protocolos para la caracterización de la calidad nutracéutica, organoléptica y evaluaciones *in vivo* - *in vitro* de materias primas y aditivos funcionales utilizados en sistemas de producción bovino lechero.
2. Un sistema de alimentación que permita elevar la productividad y calidad nutracéutica, organoléptica y composicional de la leche en relación a las concentraciones de ALC, basado en el uso de los recursos forrajeros disponibles.
3. Aumento en el precio por litro de leche para el productor, asociado a la acumulación de sólidos totales y a la acumulación de sustancias bioactivas.

5.1.3. Mercado

Las perspectivas del consumo mundial de carne bovina para el 2015 apuntan a un incremento de aproximadamente 8 millones de toneladas; aumento que ocurrirá principalmente en mercados como la China, India, México y los países del Norte de África y del Medio Oriente (Japón). Se espera que en los próximos 10 años los mercados internacionales favorezcan los precios de la carne bovina y la de cerdo en relación con otros tipos de carne, aún en escenarios donde el ingreso *per cápita* se vea reducido. En tanto, la producción de leche y derivados lácteos a nivel mundial ha sido muy variada, alcanzando para el año 2010 un incremento del 1,6 por ciento con respecto al año 2009. Países como China y la India, principales productores asiáticos (257 millones de toneladas), presentan a nivel mundial la mayor producción de leche y la mayor tasa de crecimiento anual (FAO 2010 a y b). El efecto calculado que se derivará del aumento esperado de los precios del barril

de petróleo (a cerca de 100 US\$ por barril) se calcula que será más notorio en los precios de los cultivos, especialmente granos (un 20-30%), mientras que tendría un efecto leve en el incremento de los productos de origen animal. La tendencia reciente (2006-08) de separación de la brecha productora entre países desarrollados y países en desarrollo será mucho más notoria en el 2018, cuando se espera un mayor número de hectáreas dedicadas a la agricultura en los países en desarrollo, y un aumento de la fuerza laboral por cada área agrícola destinada.

Uno de los sectores y productos agropecuarios de mayor producción y de mayores cambios proyectados en el mediano plazo, es la carne bovina dentro de lo proyectado por la OECD se destaca el buen comportamiento que tendrá la carne bovina, cuyos precios en el mercado convergerán hacia una estabilidad (3 y 4 a 9% a corto y largo plazo, respectivamente).

Colombia es uno de los países que tiene mayores oportunidades de posicionar una carne diferenciada en los mercados internacionales, principalmente en razón de sus sistemas de alimentación, basados especialmente en el pastoreo y el uso de cultivos y arbustos forrajeros. Utilizando estos sistemas de producción, Colombia logró un incremento en sus exportaciones cercano al 124% en el periodo 2010 -2011, con lo cual el país se posicionó en el décimo lugar entre los países exportadores (PROEXPORT, 2012). Este aumento de la cuota exportadora estuvo ligado a un programa sistemático y ordenado liderado por Fedegan, en el cual se establecieron conglomerados de productores con estándares mejorados de calidad cárnica, de alimentación y manejo animal. Estos conglomerados están usualmente asociados en áreas de presencia de frigoríficos de clase I, y pertenecen a los programas de Fincas Sobresalientes y Círculos de excelencia de FEDEGAN.

Para el primer trimestre de 2011, Colombia exportó US\$ 6.878.500 FOB US\$, manteniendo con ello el nivel exportador presentado durante el 2010, con una ligera tendencia a la baja del 12.4%. Sin embargo, con la llegada del nuevo acuerdo binacional entre Colombia-Venezuela, se espera que las exportaciones de carne puedan reactivarse en los próximos meses, pero quizá sin alcanzar el umbral que llegó a tener en el 2009 (antes de la crisis) de US\$ 604.728.886. Debido a las circunstancias que rodearon la crisis con Venezuela, Colombia comenzó a manejar nuevos mercados en países como Líbano (US\$ 11.540.000), Perú (US\$ 1.840.879) y Antillas Holandesas (US\$778.836).

Las perspectivas de exportación de carne colombiana podrían incrementarse a más del doble a lo largo de la década, si el supuesto del plan de desarrollo 2019 se cumple y el país alcanza una carga animal de 2.3 animales por hectárea. En el año 2012, FEDEGAN lanzará el plan quinquenal (2012 – 2017) orientado a mejorar los índices productivos en la ganadería, que contribuirán a mejorar la competitividad del sector. Es claro que Colombia no sería competitiva por su volumen, sino por su producto diferenciado que privilegia un origen (Marca de Origen) en sistemas de

alimentación con base en el uso del pastoreo. La falta de flexibilidad de la Unión Europea (UE) para incrementar la actual cuota exportadora de Mercosur de 100.000 a 300.000 ton métricas, se justifica en la suplementación con concentrados por parte de los países exportadores (v.g Brasil) y en el rigor de la UE para el manejo animal (calidad e inocuidad y bienestar animal) incluso desde el destete (FEDEGAN, 2011). Por esta razón, la oferta presente y futura colombiana será más competitiva con relación a los países del Mercosur.

Recientemente se puso en marcha un proyecto del Banco Mundial y del “General Environmental Fund – GEF”, cuyo objetivo enuncia “Inducir la adopción de sistemas de producción ganaderos amigables con la biodiversidad, mediante diferentes estrategias en áreas de pasturas degradadas, para crear paisajes más adecuados en beneficio de la biodiversidad, e incrementar los ingresos del ganadero”. Esta iniciativa aporta para Colombia, inicialmente, más de 50 millones de dólares para reducir la huella ambiental de nuestras ganaderías bovinas, y demuestra el interés de Europa por privilegiar sistemas de producción ganadera como el nuestro, donde la base fundamental de la alimentación es el pastoreo con suplementación, con una huella ambiental baja y con esquemas de bienestar animal.

Lo anterior indica que el creciente mercado de la carne representa una oportunidad importante para aquellos países productores como Colombia, dado principalmente por su disponibilidad de tierras y de sol durante los 365 días del año para la producción sostenida de biomasa, y con las condiciones de inocuidad y calidad nutricional y nutracéutica que los consumidores demandan.

La producción de leche en Colombia se destaca por su gran dinámica reflejada en elevadas tasas de expansión, y aumento en el volumen de producción, siendo superado sólo por Brasil, dado que se ubicó en el puesto 15 a nivel mundial y el cuarto en Latinoamérica (Proexport, 2011), al pasar de producir en el año de 1979 aproximadamente 2.000 a 6.500 millones de litros de leche en el 2010, teniendo una tasa promedio de crecimiento del sector de 3,5% anual. Además, se cuenta con un amplio portafolio de empresas dedicadas a la producción, transformación y comercialización de lácteos, las cuales están ubicadas en diferentes zonas del país y poseen un gran conocimiento del consumo y de las redes de distribución nacionales, factores que hacen de las empresas colombianas potenciales socios estratégicos para las compañías extranjeras que decidan adelantar un plan de negocios en nuestro país. En lácteos el país cuenta con acceso preferencial a los mercados de la CAN, Mercosur, Chile, Cuba, Canadá y México. Actualmente, en las sociedades industrializadas existe una demanda creciente de alimentos funcionales, esto revela una gran oportunidad para poder beneficiarse de la apertura del mercado europeo de lácteos, si se logra aprovechar la experiencia ganada en la inserción de productos en el mercado mundial y la certificación de plantas lácteas del país (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2010).

En el país existen dos tipos de sistemas de producción de leche; sistemas especializados y sistemas de doble propósito. Del total del hato bovino, el 47% (11.3 millones de cabezas) es destinado a la producción de leche, del cual el 10.5% corresponde a sistemas especializados y el 89.5% al sistema de doble propósito. El doble propósito genera simultáneamente carne y leche en sistemas de pequeños y medianos productores (Fedegan, 2009). En la producción lechera se generan más de 650.000 empleos directos.

Las industrias lácteas están situadas en los principales centros de producción, así como de los principales centros de consumo, como es el caso de Antioquia y Cundinamarca. Mientras la lechería especializada fundamenta su sistema de alimentación en pastoreo suplementado, la lechería doble propósito privilegia el uso de recurso forrajero. En ambos casos las pasturas aportan sustancias precursoras de bio-moléculas relacionadas con la calidad nutricional y nutracéutica de la leche.

5.1.3.1. Justificación

La carne y la leche colombiana pueden posicionarse en mercados internacionales por su calidad nutracéutica y organoléptica, definida principalmente por la integración que existe entre los sistemas de alimentación (basados prioritariamente en el uso de forrajes) y las buenas prácticas ganaderas que se imponen a lo largo de la cadena de producción y manejo de la carne y de la leche, garantizando la inocuidad, mediante la investigación en genómica, proteómica, nutrigenómica, el microbioma ruminal (bovino) y el microbioma humano (consumidores). Esta integración está definida en gran parte por la participación de conglomerados de productores exportadores, que manejen sistemas competitivos de producción limpia, amigables con el ambiente y que tengan en cuenta las Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) y el bienestar animal. Se destaca que la carne bovina es una de las cuatro áreas estratégicas (sectores de talla mundial) de enfoque del Sector Agropecuario incluida en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (Capítulo 3, Crecimiento Sostenible y Competitividad), en Nuevos Sectores Basados en la Innovación de la Política de Transformación Productiva (DNP, 2010).

Existen dos oportunidades que el sector ganadero colombiano deberá capitalizar para alcanzar competitividad en el contexto global. La primera es aprovechar que gran parte del país ha sido declarado por la Organización Internacional de Epizootias, como una zona libre de fiebre aftosa con vacunación. La segunda es responder a la futura demanda de productos cárnicos y lácteos, que como consecuencia del crecimiento demográfico y el aumento de los ingresos, registrará un incremento mayor al esperado para la mayoría de los productos alimenticios. Así, la producción mundial de carne (avícola, porcina, bovina, ovina y peces) se duplicará, elevándose de 229 millones de toneladas en 2001 a 465 millones de toneladas en 2050, mientras

que la de leche crecerá de 580 a 1043 millones de toneladas. Ya en el 2007, el estimado mundial de producción de carne alcanzó 283 millones de toneladas (FAO Food Outlook, 2007), de las cuales la producción mundial de carne bovina sería de unos 66.6 millones de toneladas, comparada con la cifra del 2005, la cual alcanzó valores de 64.6 millones de toneladas.

El crecimiento de la producción de carne y leche tendrá lugar en su mayor parte en países en desarrollo, como China, India y Brasil, que en los últimos años han venido aportando dos tercios del crecimiento de la producción actual de carne. Así, mientras en 1990 los países en desarrollo eran responsables del 43% de la carne producida mundialmente, para el 2007 esta proporción fue del 60%. Colombia ocupa el puesto décimo en producción de carne bovina en el mundo y tercero en el Cono Sur después de Brasil y Argentina, con un potencial mayor, mediante el uso de tecnología adecuada para ello. Solamente para lograr que los consumos nacionales de carne bovina alcancen de nuevo los 20 kg por habitante se requeriría un aumento de 25% (190,000 toneladas más) sobre los volúmenes de producción actualmente reportados.

Colombia tiene ventajas comparativas ya que sus sistemas de producción están basados en pastoreo y a que posee recursos genéticos bovinos adaptados a los mismos. Se espera aprovechar la apertura de nichos especializados de mercado para productos cárnicos y lácteos, dadas las nuevas tendencias del mercado

Finalmente, el sector ganadero colombiano deberá aprovechar la apertura de nichos especializados de mercado para productos cárnicos y lácteos de origen bovino en virtud de su posible valor como alimentos funcionales. Un ejemplo de actualidad en esta línea de investigación tiene que ver con el contenido de ácido linoleico conjugado (ALC) en la carne y la leche, compuesto de impacto favorable sobre la salud humana por su papel como agente preventivo y curativo de patologías importantes como el cáncer y la arteriosclerosis. Se ha demostrado que en la carne y leche de bovinos manejados bajo pastoreo se encuentran mayores concentraciones de ALC comparadas con carne o leche de animales manejados bajo sistemas en confinamiento alimentados con concentrados. Para permitir el acceso de las carnes colombianas a esos nichos de mercado, se debe contar con métodos confiables y estandarizados para medir la concentración de ALC y con la tecnología de producción adecuada para asegurar su mayor concentración en las carnes o leches producidas en Colombia. Evidentemente, el beneficio no solamente será para el mercado de exportación sino para el mercado nacional.

Los países consumidores actualmente están demandando carne y leche de alta calidad nutricional y nutracéutica, producida con estándares de inocuidad basados en esquemas de producción limpia, amigables con el ambiente y con sistemas que privilegien el bienestar animal. Colombia tiene como reto mejorar sus sistemas de producción animal hacia una oferta de ecotipos raciales bovinos, y de recursos

forrajeros y alimenticios que puedan privilegiar características organolépticas, de ternera, y de marmóreo competitivos. La buena calidad organoléptica que posee la carne colombiana está estrechamente relacionada con la habilidad de los bovinos para procesar los complejos sustratos alimenticios (pastos y forrajes) que se disponen en los sistemas de producción. Para llevar a cabo los procesos de asimilación de nutrientes, los animales deben poseer mecanismos mediados por microorganismos en su tracto gastrointestinal, que les permita no sólo degradar los sustratos y sintetizar nuevas moléculas a partir de aquellos previamente degradados. Los microbiomas ruminales bovinos de Colombia son diferenciados por dieta y ambiente y albergan microorganismos y genes inexplorados, con potencial para patentar y para uso comercial.

Las principales ventajas del sector lechero están relacionadas con: 1) Aprovechar que el territorio nacional se encuentra libre de aftosa con vacunación, 2) producción media anual de 2.600 millones de litros de leche fresca disponibles que no entran al canal formal de transformación, 3) Colombia es el cuarto productor de leche y el tercer mercado en ventas de lácteos en América Latina, 4) La elevada concentración de sólidos de la leche producida en las regiones de la Costa Caribe, Santander y Caquetá (DNP, 2010).

El desarrollo de productos innovadores con valor agregado para la cadena láctea colombiana mediante la bioprospección, contribuirá a mejorar la productividad del sistema y la calidad nutracéutica, organoléptica y sanitaria de la leche. En conclusión algunas de las temáticas relacionadas con esta iniciativa podrían considerar: a) La definición de la línea base actual de los sistemas pecuarios colombianos incluyendo estimaciones de uso de insumos, excreción de nutrientes y calidad organoléptica, funcional y sanitaria de los productos y subproductos generados; b) El desarrollo de estrategias desde la alimentación, con el fin de reducir los costos de producción, mejorar la calidad organoléptica y funcional de los productos pecuarios y/o reducir la excreción de contaminantes con énfasis en gases de efecto invernadero; c) El desarrollo de productos de origen microbiano para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes, reducir problemas asociados a enfermedades y mejorar parámetros zootécnicos y d) La realización de estudios de genómica animal, con el fin de identificar animales con los acervos genéticos que permitan producir eficientemente bajo las condiciones del trópico, con especial atención a la calidad organoléptica (ternera, marmóreo), nutricional y funcional de los productos y la excreción de contaminantes.

La concentración de ALC en leche, obtenidos en los sistemas de producción está directamente influenciada por factores dietarios, con mayores concentraciones de estos ácidos grasos bajo alimentación en pastoreo (Dhimann *et al.*, 1999). En Colombia estudios realizados por Rico *et al.*, (2007) reportaron altos niveles de ALC con 13,6 mg/g de grasa, en vacas mantenidas bajo condiciones de pastoreo, en sistemas especializados de forrajes de Kikuyo y Raygrass, que es tres veces

el valor encontrado en sistemas de alimentación confinados basados en el uso de ensilajes. Estudios más recientes sugieren que el kikuyo tiene ventajas comparativas a otros forrajes como precursor de esa molécula (León *et al.*, 2011) y que con el manejo de ese forraje en estadios jóvenes, los niveles que se pueden alcanzar serían superiores a los 20 mg/g de grasa. Mientras que con el uso de kikuyo se privilegia la acumulación de precursores de ALC (molécula de valor nutracéutico) en sistemas especializados, la ganadería doble propósito ofrece oportunidades privilegiadas de mayor concentración de sólidos totales con beneficios consecuentes para los ingresos del productor. El uso de algunos forrajes como la leucaena aparentemente también incrementa las concentraciones de ALC en la leche en estos sistemas (Mahecha *et al.*, 2009). El uso de pasturas en la alimentación no solo tendría ventajas en este ácido graso, sino que se ha demostrado que las leches producidas bajo pastoreo, podrían producir perfiles con una mayor concentración de ácidos grasos insaturados y disminuir algunos ácidos grasos con connotaciones negativas para la misma, como son el mirístico y el láurico. Las concentraciones de esos ácidos grasos en la carne o la leche podrían ser elementos diferenciadores en nichos específicos de mercados que buscan productos saludables.

Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (2012), tres cuartas partes de las muertes prematuras que se produzcan en el mundo en el año 2020, podrían ser causadas por enfermedades crónicas, como la hipertensión arterial y otros trastornos cardiovasculares y la diabetes. Por tanto, el incremento de la calidad nutracéutica en la leche es hoy un tema de importancia, esto en relación al impacto benéfico sobre la salud humana del isómero: C18: 2-*cis* -9,*trans*-11 de ácido linoleico conjugado (ALC), disponible en grasa de leche bovina y al cual se le atribuye propiedades nutracéuticas (anticancerígeno, antiarteriosclerótico, antidiabético e inmunoestimulador).

De esta forma, el programa apunta a incrementar la eficiencia productiva del sistema, y a la obtención de un producto de mayor calidad, con valor agregado como alimento natural y funcional, satisfaciendo las nuevas demandas y el mejoramiento de la salud animal y humana, motivando a futuro la reconversión de la producción convencional a una producción de leche ecológica.

A partir de junio del 2011, un grupo de investigadores de diferentes instituciones colombianas entre las que se destacan Corpoica, la Universidad Nacional de Colombia, CORPOGEN, MADR, DNP y COLCIENCIAS, con el apoyo de investigadores internacionales de la Universidad de Texas A&M (EU) y del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), ha venido construyendo una propuesta de bioprospección aplicada al área de la ganadería. Con la bioprospección aplicada al sector cárnico y lácteo, se espera que Colombia fortalezca un conglomerado de productores que buscan darle valores agregados de calidad nutracéutica y organoléptica a sus productos.

Esta propuesta requiere el desarrollo de los siguientes módulos (Mediano plazo):

i. Consolidación de línea base

- a. *Carne*: Caracterización y evaluación de conglomerados de producción de carne en tres sub-regiones (Caribe, Orinoquía y Valles Interandinos). Esto se refiere a la caracterización de la línea base con relación a: sistemas de alimentación, tipo racial, esquemas de manejo, salud y bienestar animal y calidad de la carne.
- b. *Leche* - Caracterización y evaluación de conglomerados de producción de leche en cuatro subregiones (Caribe, Antioquia, Altiplano Cundiboyacense y Nariño). Esto se refiere a la caracterización de la línea base con relación a: sistemas de alimentación, tipo racial, esquemas de manejo, salud y bienestar animal y calidad de la leche. *Avance en caracterización de la línea base en los sistemas de producción lechera*: La Universidad Nacional con apoyo del MADR desarrolló un estudio sobre la composición de la leche (incluyendo el ALC) en más de 900 predios en diferentes zonas lecheras del país. En este estudio se caracterizaron los forrajes y el sistema de alimentación. La mayoría de esta información (60%) es del altiplano Cundiboyacense, aunque se cuenta con información parcial de algunos predios en Antioquia, Valle, Llanos Orientales y Costa Caribe. La información preliminar sugiere que la lechería especializada tendría ventajas comparativas para la producción de ALC, aunque bajo ciertos sistemas de alimentación también se podrían encontrar niveles altos en las zonas de trópico bajo. Por otro lado, la lechería de trópico bajo tendría ventajas en la calidad composicional, pues cuenta con contenidos de sólidos más altos, con excepción de la región llanera. Otros estudios han permitido concluir que el pasto kikuyo joven y ofrecido en abundancia, produce cantidades muy superiores en ALC en la leche, que otros pastos o el mismo forraje maduro.

ii. Bioprospección de la agrobiodiversidad de bovinos y microorganismos.

Esto considera específicamente la bioprospección del microbioma bovino de cada conglomerado priorizado y del correspondiente genoma y nutrigenoma bovino asociado con el sistema de alimentación, con fines de selección de carnes y leches élite con propiedades nutracéuticas/organolépticas superiores y de sus microorganismos o derivados. Específicamente se refiere a la búsqueda de genes y microorganismos con valor comercial y en la agroindustria elicitados por el tipo de sistema de producción (alimentación) y cómo se relacionan con el nutrigenoma del animal (desarrollo muscular, características organolépticas, estrés oxidativo, balance Omega 3 y 6 y acumulación de ácido linoléico conjugado, entre otros).

Avance actual:

Carne: Ya se cuenta con avances (expresados en porcentaje del valor ideal) en la caracterización y respuesta productiva (ganancia de peso: 15-20%), evaluada

mediante pruebas de desempeño en pastoreo en bovinos criollos Romosinuano y BON y se ha evaluado el efecto del vigor híbrido en sus cruces con Cebú, sobre crecimiento, calidad de la canal y calidad de carne (terneza valores inferiores a 4.3 kg fuerza. Índice superior a 2.4 en escala ICTA-Fedegan), calidad nutracéutica (a nivel de Acido Araquidónico: superior a 4) de los tipos raciales que entrarían en el programa, estos son: Sanmartinero x Cebú ; Romosinuano x Cebú, Simmental x Cebú; Limousin x Cebú, y Angus x Cebú, y Cebú sin cruce. En Corpoica se han secuenciado regiones codificantes de 6 genes relacionados con crecimiento y calidad de la carne, se identificaron 47 nuevas variantes y se encontraron cuatro variaciones con efecto significativo. Además, se han utilizado tecnologías de genotipado a gran escala (Bead chip genome array 56 K), y se han identificado 39 marcadores que presentan asociación altamente significativa con características de desempeño productivo y con medidas de rendimiento post-sacrificio, que representan un incremento en los índices productivos y la rentabilidad entre un 8 y un 22%.

Se han identificado 3 genes y 3 marcadores asociados a crecimiento y desarrollo muscular en raza criolla Romosinuano. Se encontró que una molécula nutracéutica, Acido Araquidónico, fue significativamente alta en los cruces bovinos Sanmartinero x Cebú (3.67 mg/100 g de carne) ya evaluados en la Orinoquía. El isómero funcional Acido Linoléico Conjugado (CLA), presentó la mayor concentración en cortes de lomo de canales de novillos Limousin x Cebú (0.57 mg/100g). Ya se tienen caracterizadas las principales bacterias celulolíticas de los bovinos de las razas criollas colombianas, de Cebú y de algunas razas Europeas. Se cuenta con 228 cepas bacterianas caracterizadas en un 30% a nivel molecular y fisiológico. Con un coctel microbiano compuesto por cinco de ellas (Patente registrada y en trámite) se desarrolló un probiótico para terneros recién nacidos de ganaderías de carne, leche y doble propósito.

En metabolómica se cuenta ya con evidencias de que el tipo racial (cruce) en interacción con el tipo de dieta, privilegia la acumulación de Acido linoléico conjugado en la grasa intramuscular. Se han determinado tres diferentes tipos de alimentación (pastoreo y suplementación estratégica) con sus respectivas respuestas en calidad nutricional, de canal y carne, y nutracéutica para los cruces evaluados a nivel de la Orinoquía. Debido a que las pasturas en las diferentes regiones ganaderas del país son distintas, se espera encontrar microbiomas diferentes (tal como se ha visto para microorganismos cultivables), y por ende efectos diferenciables y específicos en composición nutricional y nutracéutica de los respectivos cortes de carnes.

Leche: A pesar de la importancia genética asociada a las características composicionales y de calidad de la leche, el esfuerzo dedicado por el país en esta área ha sido menor. Sin embargo, se cuenta con alguna información relacionada con la identificación de la diversidad genética de variantes genéticas asociadas a los tipos de caseínas de la leche, que se consideran importantes en la determinación de algunas características industriales de la leche y a características composicionales.

En esta área, se han caracterizado algunos núcleos de ganado Holstein en Antioquia y Nariño y en Hartón del Valle en los sistemas de lechería especializada.

Algunas variantes genéticas de las caseínas influyen en las características queseras de la leche bovina. El gen de la kappa-caseína (κ -CN) ha sido ampliamente estudiado debido a que es la más importante de las caseínas. Cuando contiene kappa-caseína del tipo B presenta, respecto de la que posee kappa-caseína del tipo A, más alto contenido proteico, mayor estabilidad al calor y a la congelación y mayor aptitud quesera; menor tiempo de coagulación, cuajo más consistente y un 5-10% más de rendimiento quesero.

Avance en caracterización de la línea base en los sistemas de producción lechera: El grupo de investigación de Recursos genéticos y Biotecnología Animal de Corpoica viene adelantando estudios para la detección de marcadores genéticos relacionados con calidad de la leche, como SNP's (polimorfismos de nucleótido simple) en el gene de la Kappa caseína, lactoglobulina, diacil glicerol, acil transferasa, entre otros y que pueden controlar características como cantidad de grasa, proteína y producción total de leche. Estos marcadores están siendo genotipados para las razas criollas con el objeto de determinar la proporción del efecto sobre las características fenotípicas relacionadas y establecer la posibilidad de incluirlos en un programa de selección.

Resultados asociados al estudio de genes relacionados con el mejoramiento de la calidad de la leche de razas bovinas criollas colombianas, fueron reportados por la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia-Palmira (DIPAL), destacándose el potencial del ganado criollo colombiano para producir leche con características deseables en la industria, debido a que la variante de interés; Beta-lactoglobulina B que mejora la proporción de sólidos totales fue encontrada en alta frecuencia en las razas Caqueteño, Lucerna, Hartón del Valle y Chino Santandereano y en menor proporción en las razas criollas Blanco orejinegro, Casanareño y San Martinero, lo que indica el alto valor del ganado criollo colombiano para la producción de leche con características deseables en la industria, constituyendo un recurso que alberga una amplia diversidad genética en cuanto a proteínas de la leche.

iii. Generación de bases de datos de genes, metabolitos, bovinos, y microorganismos. Esto se refiere a los sistemas de información (bases de datos ómicas), sistemas de alimentación y de producción por ecoregión, protocolos de procesamiento, conservación y empaque, grupos raciales, que deben ser compilados en bases de datos para uso de productores, procesadores, comercializadores, gremio y academia.

iv. Desarrollo de productos. Semen, embriones, aditivos funcionales (Prebióticos, probióticos y metabolitos).

Ya se cuenta hoy en el mundo con la comercialización de tres tipos de carne diferenciadas: una carne orgánica y una carne denominada verde en los mercados de Francia y Alemania, respectivamente. Una tercera carne, con más tradición, es el tipo Kobe de Japón (hoy también producida en California). Esta última con atributos más relacionados con marmóreo (porcentaje de grasa intra muscular) con propiedades nutricionales o nutraceuticas relevantes y con precios que alcanzan la increíble cifra de 300 dólares la libra.

Más de 100 referencias en revistas científicas internacionales demuestran que la composición del microbioma y su deriva metabólica (biohidrogenación de ácidos grasos, principalmente) definen el perfil nutraceutico de la carne y la leche, y que la composición de dicho microbioma está directamente relacionado con el tipo de alimentación, en la cual las pasturas marcan la diferenciación en comparación con los sistemas de países desarrollados, donde se privilegian los concentrados.

Estudios preliminares del microbioma de bovinos criollos colombianos realizados en Corpoica indican la presencia, entre otros, de la bacteria *Megasphaera elsdenii*, la cual en el rumen favorece las rutas metabólicas que incrementan los niveles de Acido Linoleico Conjugado.

5.1.4. Desarrollo de criterios de selección

5.1.4.1 Avance en Diseño

PUNTAJE = 2. Fase 1 (prediseño)

Teniendo en cuenta las fases y el nivel de avance en el diseño del Megaproyecto, la propuesta se encuentra relativamente avanzada, como lo indica el puntaje asignado, por las razones expuestas a continuación:

1. Se cuenta con un censo establecido de ganaderos elite y Programas de Finca sobresalientes (245) y Círculos de excelencia (723) de Fedegan para el monitoreo de los estándares de calidad de los mismos. Este censo refleja un porcentaje de productores sobresalientes, pero no el 100% de elites potenciales.
2. Plataforma de bioinformática y metagenómica de la Alianza Corpogen-Universidad de los Andes-Universidad Nacional y Universidad Javeriana (GEBIX) y una plataforma de proteómica, de análisis cromatográfico, de análisis sensoriales y de calidad de la carne y la canal con aliados de Universidades regionales, nacionales y centros de investigación.
3. Genotipado a gran escala (56K) de 650 animales de las razas Romosinuano, Blanco Orejinegro y cruces con Cebú ya establecidos y análisis de asociación genómica para características de crecimiento. Genotipado (marcadores relacionados con calidad de carne CAPN, CAST, LEPTina RORC, MYO

GhRelin, PEGB, TYR) de seis biotipos raciales bovinos (Sanmartinero x Cebú; Romosinuano x Cebú, Simmental x Cebú; Limousin x Cebú, y Angus x Cebú, y Cebú sin cruce), para variantes de genes relacionados con calidad de la carne y evaluados en relación con sus características de calidad nutricional y nutracéutica, realizado en asocio con Universidades regionales, nacionales y centros de investigación.

4. Estudios del efecto de sistemas de alimentación y manejo en la calidad organoléptica y de la composición de la carne. El modelo exitoso ya establecido en la Orinoquía para los biotipos raciales evaluados, puede replicarse para las regiones de Caribe y de Valles Interandinos, cubriendo un total de 16 sub-regiones, con 6 razas. Cada ecorregión es privilegiada porque cuenta con un tipo especial de pastura ya establecida con o sin silvopastoreo (uso de árboles y sus frutos para suplementación). Otro avance importante con que se cuenta es el hallazgo y determinación realizada por la Universidad Nacional (Bogotá) y Corpoica, de tres genes (MYF5, IGF1 y PDE1B), asociados a crecimiento y desarrollo muscular en la raza bovina criolla Romosinuano. Además, han sido identificados en los últimos cinco años SNPs con efectos mayores, asociados a características de calidad de la carne y de la canal, tales como Calpaina, Calpastatina para terneza, Mioglobina para características de color, IGF-1 e IGF1BP para características de la canal, en ganaderías de cruces de Cebú Brahman con diferentes razas taurinas (BON, Romosinuano, Normando, Limosín, Simmental y Braunvieh).

Avance actual: El único banco de germoplasma Latinoamericano de microorganismos ruminales de bovinos del trópico a nivel de microbioma, cuenta con 228 cepas bacterianas, de las cuales se han caracterizado un 30% a nivel molecular y fisiológico. Se ha generado un probiótico para terneros recién nacidos de ganaderías de carne, leche y doble propósito, en la forma de un coctel microbiano compuesto por cinco de ellas (Patente registrada y en trámite). Se cuenta también con un cepario de 10 bacterias (caracterizadas a nivel fisiológico y molecular) pertenecientes a la especie *Megasphaera elsdenii*, microorganismo promisorio para la producción de precursores de Acido Linoleico Conjugado.

5.1.4.2. Sensación de apoyo departamental

PUNTAJE = 3. Apoyo Regional

La Sensación de apoyo / demanda departamental determina el interés regional en las propuestas, según la estructuración del programa, el cual mostró la posibilidad de vinculación de varias subregiones, como se indica a continuación.

Mil (1000) productores en 14 sub-regiones de 3 regiones naturales y 5 con potencial de agregación (Figura 3). Los fondos ganaderos de las tres sub-regiones agregadas

por Fedegan, coordinan las acciones de las asociaciones de productores con el apoyo de las respectivas universidades departamentales, seccionales del SENA y círculos de frigoríficos exportadores regionales. Dentro de las acciones de socialización y sensibilización del programa de Bioprospección en las regiones, resalta que la gobernación de Cundinamarca ha manifestado un claro interés hacia leche y que en Antioquia se propuso un esfuerzo de 8,000 millones para diferenciar la leche en una cuenca antioqueña específica. No obstante otros departamentos como Cesar, Sucre, Caldas, Guajira han manifestado su interés en agendar acciones de Bioprospección en ganadería para los años 2013 en adelante.

En el mapa, son presentadas las zonas en las cuales este subproyecto tiene un impacto directo (Figura 3).

Figura 3. Mapa que representa la distribución geográfica a nivel nacional de las zonas que serían beneficiadas con este subproyecto. Fuente: Base de datos geográfica de Corpoica, 2011



5.1.4.3. Riesgo Moderado

PUNTAJE: 4. 25% > P (fracaso)

La Sensación de riesgo de implementación con base en antecedentes nacionales e internacionales, señala mas de cien referencias en revistas científicas internacionales, que demuestran la composición del microbioma y su deriva metabólica (biohidrogenación de ácidos grasos, principalmente), que definen el perfil nutracéutico del carne, y que dicho microbioma en composición está directamente relacionado con el tipo de alimentación, en la cual las pasturas marcan la diferenciación en comparación con los sistemas de países desarrollados donde se privilegian los concentrados. Por tal razón el riesgo es bajo.

5.1.4.4. Fortalecimiento SIN

PUNTAJE = 3. En dirección correcta del fortalecimiento de roles del SIN

- El proyecto apoya la correcta distribución de objetivos misionales
- COLCIENCIAS en formulación y evaluación de política
- Fortalecimiento de agencias operadoras capaces de asumir el reto

Se fortalecen las capacidades nacionales ya instaladas de bioinformática, genómica y proteómica. Se crea una red-laboratorio nacional de la carne. El tema ha sido priorizado por el CONPES de Biotecnología 3697, y el Plan de Desarrollo 2010-2014. La alianza para la construcción de esta iniciativa incluye al sector académico (universidades nacionales y departamentales con influencia y/o presencia en las 14 sub-regiones), con participación de los comités técnicos de las respectivas gobernaciones, con la cámara de comercio, y con los conglomerados de productores, siendo incluyente con aquellos que hasta hoy no pertenecen a círculos de excelencia, pero que tienen el potencial de agregarse (nuevas regiones: Valle del Cauca, Santander y Sabana de Bogotá). La alianza sector productivo-investigativo-académico va en dirección correcta con la política de CTI.

5.1.4.5. Efecto Demostrativo

PUNTAJE = 3. Alto efecto demostrativo

- La Sensación del efecto demostrativo para inspirar a entidades nacionales y subnacionales en buen uso de CTI para “resolver problemas” es alto, como se destaca mas adelante.

El proyecto impacta al sector primario, con valor agregado a los demás eslabones de la cadena, y replicará el modelo de conglomerados de productores exitosos (de 14 sub-

regiones) a nuevos productores con potencial exportador. Entre las 5 nuevas regiones con potencial creciente se encuentran: Valle del Cauca, Santander y Sabana de Bogotá, y clústeres de productores incluidos en el Valle de Aburrá y Magdalena Medio, con ventajas comparativas por su confluencia hacia la Comercializadora Cárnica de Antioquia (Frigorífico tipo I). El modelo de bioprospección con uso comercial servirá como referente nacional para otros megaprogramas, cadenas o regiones.

5.2. Proyecto piloto: desarrollo de estrategias para el control fitosanitario y agregación de valor en cultivos de solanáceas

La familia de las Solanáceas comprende 96 géneros y alrededor de 2700 especies y es reconocida mundialmente por la importancia de sus frutas y hortalizas cultivables y el amplio rango de utilidad agronómica de sus especies, que incluyen al género *Solanum*. En Colombia, los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), papa criolla (*Solanum phureja*), tomate (*Solanum lycopersicum*), uchuva (*Physalis peruviana*), lulo (*Solanum quitoense*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), ají (*Capsicum* sp.), pimentón (*Capsicum annuum*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) son los principales cultivos de solanáceas de importancia económica (Carreño *et al.*, 2007; Pratt *et al.*, 2008).

Como país tropical, Colombia puede garantizar la producción permanente de muchas especies de esta familia, que se presentan como una alternativa promisoriosa de cultivos con mejores posibilidades de competencia en escenarios de mercados globalizados. Lobo (2000; 2007), señaló algunos factores que favorecen y potencian la producción de frutales andinos de la familia solanácea, entre los que incluyó: a) la variabilidad genética amplia de los taxones y especies relacionadas en la zona Andina como su centro de origen y diversidad; b) los nichos apropiados para su siembra; c) la aceptación de las frutas por los consumidores; d) el potencial agroindustrial y e) el ser alternativa de reconversión de cultivos ilícitos. Estas características hacen que los frutales puedan ofrecer un sinnúmero de aplicaciones desde la bioprospección en las industrias de alimentos, como frutas frescas, en pulpa o procesadas (microencapsulados, liofilizados, otros); cosmética (metabolitos); salud, farmacéutica (metabolitos secundarios) y botánica medicinal, pues la mayoría de estas frutas tienen un buen nivel de antioxidantes y sus pulpas son ricas en vitaminas (especialmente ácido ascórbico) y minerales (Tafur, 2006).

Sin embargo, se requiere fortalecer la cadena productiva de frutales y tubérculos (papa) desde la materia prima (a través de enfoques integrados de genotipo, ambiente, interacción genotipo x ambiente, suelos, fisiología de semillas, nutrición, cosecha, poscosecha, manejo de plagas y enfermedades) hasta el desarrollo agroindustrial y la comercialización. Estos enfoques deben involucrar el fortalecimiento de los grupos de investigación y desarrollo y la integración de centros de investigación, universidades, sector productivo y los gremios, para lograr apropiación de las tecnologías por parte de

estos dos últimos y hacer efectivo el proceso hasta el mercadeo (en fresco o producto transformado), con muy alta calidad en todas las etapas.

Como plan piloto de bioprospección de frutas y tubérculos en Colombia se seleccionaron inicialmente los cultivos de uchuva y papa, respectivamente, los cuales se desarrollan a continuación.

5.2.1 Generación de valor para el desarrollo competitivo del cultivo de la uchuva como modelo de bioprospección de frutas en Colombia

Luz Stella Barrero ^{2*}, Adriana Bernal ⁵, Alejandro Navas ⁴, Andrés Rodríguez ², Camilo López ¹, Carolina González ², Catarina Passaro ³, Charles Wilson ²³, Daniel Uribe ¹, Gerhard Fischer ¹, Héctor Arévalo ², Jaime Eduardo Muñoz ⁷, Jaime Simbaqueba ², James Giovannoni ²⁴, Luz Marina Melgarejo ¹, María Luisa Rodríguez ¹⁴, María Ximena Rodríguez ¹⁵, Mario Lobo ⁴, Martha Gómez ², Michael Wisniewski ¹⁶, Pedro Jiménez ¹⁷, Reinel Flórez ², Silvia Restrepo ⁵, Tulio César Lagos ²⁷, Víctor Núñez ², Alba Marina Cotes ²

Teniendo en cuenta las recomendaciones de los talleres nacional e internacional para establecer el Megaprograma de Agrobioprospección para el Desarrollo del sector Agropecuario de Colombia descrito en el capítulo 2 y del proceso de socialización mediante visitas y consultas con expertos en las diferentes regiones de Colombia, se elaboró el proyecto piloto de uchuva que se describe a continuación.

5.2.1.1. Demanda

1. Material de siembra certificado y variedades resistentes a *F. oxysporum* u otros patógenos limitantes y con alta calidad de fruto para el mercado.
2. Productos eficientes y específicos para el control de *F. oxysporum* u otros patógenos.
3. Biofertilizantes eficaces en el cultivo de uchuva.
4. Conocimiento del potencial nutraceutico y el origen así como desarrollo de variedad de productos procesados y agroindustriales, con el fin de darle valor agregado a la fruta.
5. Procesos de transformación escalables.
6. Mejoramiento y desarrollo tecnificado para reducción de pérdidas en postcosecha.

5.2.1.2. Objetivo (primeros 5 años)

Generar insumos que impulsen el desarrollo competitivo del cultivo de la uchuva como modelo de bioprospección de frutas en Colombia.

* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. lbarrero@corpoica.org.co
Ver información de autores en el Anexo 1

5.2.1.3. Objetivos específicos:

1. Explorar y aprovechar atributos de valor en materiales de uchuva para el mejoramiento genético de la calidad nutricional, productividad y problemas fitosanitarios.
2. Monitorear la dinámica y epidemiología de poblaciones de *Fusarium* y otros patógenos como apoyo a programas de fitomejoramiento y manejo sanitario del cultivo.
3. Desarrollar bioproductos que favorezcan la producción sostenible de la uchuva.
4. Manejar la poscosecha de la uchuva en fresco y desarrollar productos con valor agregado para el procesamiento y la agroindustria, integrados a programas de mercadeo.

5.2.1.4. Actividades (primeros 5 años)

1. Generación de base de datos nacional y estado del arte de la investigación en uchuva.
2. Generación de colección núcleo o *core* de la planta mediante genotificación (genómica de alta eficiencia) y fenotipación para atributos de valor (calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica del fruto, resistencia a *Fusarium* u otros patógenos limitantes, producción -metabólica y fenómica con enfoque sistémico-).
3. Generación de cultivares con alta calidad de fruto para el mercado y/o con resistencia a *Fusarium*.
4. Creación o incremento de colección de patógenos importantes en regiones productoras.
5. Generación de marcadores, identificación de genes y estudios de patogenicidad para seguimiento de la dinámica poblacional de patógenos limitantes (v.g. *Fusarium*) y su manejo.
6. Aislamiento, caracterización e identificación de nuevos microorganismos y aquellos microorganismos endófitos y los asociados al fruto y al suelo.
7. Evaluaciones en campo de bioproductos y producción y formulación de los mismos en laboratorio.
8. Selección de nuevos microorganismos o sus metabolitos con potencial biocontrolador.
9. Selección de localidades y genotipos, definición de índices de madurez y calendarios de cosecha, desarrollo de estrategias postcosecha como alternativa al manejo actual.
10. Procesos de formulación y agroindustria.

5.2.1.5. Productos esperados

1. Genotipos, genes o metabolitos identificados y cultivares generados para al menos una característica de importancia en uchuva.

2. Genes y variantes identificados y estructura poblacional determinada para patógenos causantes de enfermedades limitantes en regiones productoras de Colombia.
3. Protocolos de cosecha y postcosecha para mercado en fresco.
4. Microorganismos o sus metabolitos seleccionados por su capacidad de biocontrol.
5. Productos (intermedios o finales) para el procesamiento y la agroindustria.

5.2.1.6. Mercado

Según datos de la Sociedad Agrarmarkt Informations-Gesellschaftmbh (AMI), Bonn (Alemania), en el año 2010 se produjeron en el mundo 820 millones de toneladas de hortalizas y unos 700 millones de toneladas de frutas (GmbH, 2011). En Colombia, según datos del 2009, la producción de frutales alcanzó 4,1 millones de toneladas y la producción de hortalizas 1,7 millones de toneladas (PROEXPORT, 2011).

La demanda mundial de fruta fresca tiende a incrementarse para los próximos años; según la Corporación Colombia Internacional(CCI), se registró un crecimiento de 34,6% en el período 2005-2009, con aumento de los ingresos de US\$ 51.686 millones a US\$ 69.562 millones. Por su parte, el mercado mundial de fruta fresca, incluida la mínimamente procesada (congelada, deshidratada y preservada) registró un crecimiento similar (37,2%) con aumento de US\$ 55.132 a US\$ 75.673 millones. Entre los países importadores de fruta fresca, incluida la mínimamente procesada, se encontraron Estados Unidos, Alemania, Holanda, Reino Unido y la Federación Rusa. Estas cifras mostraron un aumento bajo en los mercados más tradicionales, especialmente los europeos, afectados por la crisis internacional del año 2009 y al mismo tiempo, un crecimiento excesivo en las importaciones de fruta en países como China (161%), Emiratos Árabes Unidos (129%), Hong Kong (108%), la Federación Rusa (105%) y Holanda (74%) (Bravo, 2011).

El crecimiento mundial en valor, por grupos de especies importadas de fruta fresca primaria en el período 2005-2009, estuvo encabezado por dátiles, piñas y aguacates (53,8%) seguidos por “berries” y kiwis (52,9%), y con variaciones similares al crecimiento promedio de las importaciones (30%- 35%) se encontraron las uvas, cítricos, pomáceas, carozos, cocos, castañas y plátanos. Los únicos grupos de especies que registraron crecimientos menores que el promedio fueron las papayas, melones y los frutos de nuez. Según datos de la FAO correspondientes al año 2007, entre los países exportadores, España ocupó el primer lugar en el ranking mundial de exportación de frutas y hortalizas, con una cuota de mercado del 9% del total, seguida por los Países Bajos y Estados Unidos con cuotas del 7% y 6%, respectivamente (Bravo, 2011).

Colombia no sobresale como país exportador de grandes cantidades de fruta; sin embargo, en el informe “Frutas exóticas, mermeladas y frutas deshidratadas” realizado por PROEXPORT, (2010), el país figura a nivel mundial como exportador de frutas exóticas, ubicándose en el noveno puesto y en el primer lugar a nivel de Suramérica en el periodo 2004-2007. Las exportaciones mundiales de frutas exóticas en el período 2005-2007 crecieron 12,4%, alcanzando la cifra de US\$ 921,6 millones. En Colombia, durante el mismo periodo de tiempo, se presentó un incremento anual promedio del 9%, pasando de un valor exportado de US\$ 31 millones en el año 2005 a US\$ 36 millones en el año 2007. Dentro de las exportaciones de frutas exóticas en el año 2007, la uchuva registró la mayor participación con US\$ 25,6 millones, correspondientes al 77% del total exportado, seguido por el tomate de árbol (US\$ 1,4 millones) y la granadilla (US\$ 705 mil), teniendo como principales mercados de destino Países Bajos (33% - US\$ 10,7 millones), Alemania (26% - US\$ 6,6 millones) y Bélgica (20% - US\$ 5 millones) (PROEXPORT, 2011). Lo anterior corresponde a un volumen exportado en fresco en promedio de 6.305 toneladas entre los años 2005 – 2008 (Bonilla *et al.*, 2009; MADR, 2009). Datos más recientes, indican que la uchuva colombiana participó con US\$ 21 millones, equivalentes al 54% del total de las exportaciones, por encima de otras frutas frescas como gulupa (US\$ 6,9 millones), bananito (US\$ 4 millones), granadilla (US\$ 1,9 millones), pitahaya (US\$ 1,5 millones) y tomate de árbol (US\$ 1 millón), entre otras; manteniéndose los Países Bajos manteniéndose como principal destino de las exportaciones (Agronet, 2012).

De acuerdo con lo anterior, la uchuva, a excepción del plátano y el banano, es el frutal que más contribuye al total de las exportaciones en Colombia, con una contribución elevada para todo el periodo analizado que abarca entre el 47% y el 59%, lo que posiciona a Colombia como el mayor productor a nivel mundial, seguido por Sudáfrica y Zimbawe. De ahí que el Gobierno Nacional, en su Agenda 2019 y en la Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006 – 2020, la definan como un producto de alto potencial de exportación, gracias a los bajos niveles de producción de otros países como Sudáfrica, Chile y Brasil, aunque otros competidores como Brasil podrían cambiar el panorama de Colombia como principal exportador (MADR, 2009).

Según datos de la CCI (2006), en la década comprendida entre los años 1994 a 2004, la demanda del mercado mundial de la uchuva, relacionada con los volúmenes de fruta exportados, presentó un crecimiento del 15% y se espera que continúe en aumento para los próximos años. La uchuva es una fruta que tiene grandes oportunidades en el mercado internacional, al punto de ser considerada por el Acuerdo de Competitividad para Productos Hortofrutícolas Promisorios Exportables en Colombia, como uno de los productos con mayor espacio para desarrollarse. Ésta hace parte de un grupo de productos que responden a una política de apoyo para la exportación de frutas exóticas, entre las que se encuentran el bananito, el tomate de árbol, la granadilla, el maracuyá y la pitahaya, entre otros (CCI, 2002; CCI, 2008).

Tomando en consideración las zonas y países más importantes en la producción de la uchuva que son el área tropical de América y África, las Antillas, Australia e India (Fischer *et al.*, 2011), históricamente los principales compradores de uchuva colombiana han sido Alemania, Holanda, Bélgica, Luxemburgo, Reino Unido y Francia; las previsiones futuras muestran expectativas frente a la expansión de este producto a mercados como Suiza, Italia, Hong Kong y Norteamérica. Teniendo en cuenta lo anterior y considerando las exigencias de estos mercados y las limitantes tecnológicas del cultivo, es importante generar paquetes tecnológicos y utilizar Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para garantizar la calidad del producto y con ello incrementar las exportaciones (UNAL, 2007).

En Colombia, la producción de uchuva aumentó de 4 toneladas en 1993 a 12.024 toneladas en 2010. Igualmente, el área sembrada pasó de 6 hectáreas cultivadas en 1993 a 745 hectáreas en 2010. La producción de uchuva en Colombia para el año 2007 era liderada por el departamento de Cundinamarca, en el cual se reportaron cerca de 9.000 toneladas representando el 75,9% del área producida, seguido por el departamento de Boyacá con 10,4% y Antioquia con el 5,1%. Entre 2008 y 2009, la producción de uchuva se concentró en el departamento de Boyacá seguido por Cundinamarca y en tercer lugar Antioquia. Los últimos reportes sobre área cosechada, producción y rendimiento de uchuva indican que en el año 2010 en primer lugar se encontró el departamento de Boyacá, seguido de Antioquia y Cundinamarca; y los departamentos de Nariño, Norte de Santander y Cauca con aportes en menor escala (Agronet, 2012).

La FAO (2007) indicó que en Cundinamarca se encontraba más del 57% de la población productora del país, distribuida en cerca de 320 lotes en producción, con un promedio de área sembrada de 0,86 ha por lote, predominando el minifundio. Así mismo, según la FAO (2004), la uchuva es una fruta altamente demandante de mano de obra en las diferentes fases de cultivo, cosecha, postcosecha y comercialización. Se estima que durante el ciclo de cultivo (9-11 meses) se emplean en promedio 400 jornales/ha para las diferentes labores (Quintero *et al.*, 2004), lo que significa que en las 360 ha cultivadas en el país para el año 2004, se emplearon más de 145.000 jornales. En postcosecha, las comercializadoras con presencia en las zonas productoras representan la principal fuente de empleo femenino para realizar actividades de selección, limpieza, clasificación, empaque en canastilla plástica, pesaje y embalaje final del producto para exportar.

En la comercialización, la uchuva genera empleos directos en la zona productora para cargadores y transportadores (tanto para el producto como para el transporte de mano de obra), y en las comercializadoras genera empleo a nivel de cargos administrativos y mano de obra calificada. Indirectamente, también se benefician los promotores de agroquímicos y asistentes técnicos de los almacenes agrícolas. En general, el negocio de la uchuva es un motor importante en la economía de los municipios productores, ya que dinamiza el comercio local a todos los niveles

(FAO, 2004). En este sentido, dentro de la comercialización se ha identificado como necesidad la búsqueda de nuevos nichos de mercado a partir de productos innovadores con valor agregado.

De acuerdo con Bonilla y colaboradores (2009), la vigilancia comercial, enfocada en la identificación de subproductos de la uchuva, se ha clasificado en tres grupos: productos primarios (frutos con fines de ornato); productos procesados (transformación tradicional de la fruta en salsa, deshidratado y bebidas), y productos con valor agregado (uso de los componentes funcionales de la fruta en productos para la salud, para la piel y suplementos). El análisis de precios de estos productos indica un alto valor agregado percibido por el consumidor internacional, por las diferentes alternativas de uso de la fruta. Posibilidades que se incrementan con la bioprospección y la biotecnología.

La uchuva colombiana es entonces, una de las frutas con mayor éxito en el mercado internacional durante los últimos años, se caracteriza por tener una mejor coloración, un mayor contenido de azúcares y ácidos orgánicos, en comparación con los ejemplares cultivados en otras partes del mundo (v.g. África), características que la hacen más apetecida y generadora de un alto valor agregado, lo que ha motivado su producción en las zonas aptas para su cultivo. La uchuva es considerada como la fruta que lideraría el sector exportador hortofrutícola colombiano en los próximos años, tesis soportada por diversos estudios, gracias a su inclusión dentro de las 10 frutas agroindustriales y promisorias, de acuerdo con las expectativas de exportación establecidas a gran escala. La oportunidad de este producto es clara, con procesos de mejoramiento en el cultivo, tales como la reciente certificación por *Fairtrade* el cual proporciona un sello que el consumidor reconoce y por el cual estaría dispuesto a pagar un precio superior, el desarrollo de proyectos utilizando Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), y la negociación de controles fitosanitarios y cuarentenarios para acceder a nuevos mercados.

5.2.1.7. Justificación

A pesar del incremento de su valor en el mercado nacional e internacional, el cultivo de la uchuva se ve afectado por una oferta nula de cultivares mejorados; desde los años 90, se cultivan tres tipos de uchuva originarias de Colombia, Kenia y Sudáfrica (Fisher *et al.*, 2005; Villamizar *et al.*, 1993), los cuales, dada la polinización mixta de la especie (Lagos *et al.*, 2008) y la variabilidad observada en las plantaciones, sugieren una posible mezcla de genotipos. Este escenario, aunado a un sustento tecnológico deficiente del cultivo, incrementa los problemas de calidad y fitosanidad.

La calidad del fruto se destaca como uno de los aspectos más sensibles del mercado donde el rajado representa el 20% de los frutos rechazados por el exportador, y en épocas de alta precipitación puede representar hasta el 45% de la fruta rechazada

(Fischer *et al.*, 2005). Los tipos de frutos en la uchuva hasta ahora estudiados tienen cierta predisposición al rajado por ser una baya jugosa con una epidermis muy delgada, además contienen 100 a 300 semillas con buenas cantidades de carbohidratos. El tipo de rajado que se presenta en uchuva puede ocurrir de diferentes formas e intensidades dependiendo de su origen y del genotipo de la planta (Fisher *et al.*, 2005; Gordillo *et al.*, 2004).

Lo anterior sugiere que el rajado del fruto es un rasgo susceptible de mejoramiento genético y al igual que éste, otros rasgos de calidad del fruto pueden ser mejorados para ampliar las posibilidades de esta fruta en los mercados. Dentro de éstos se destacan el tamaño y el valor nutritivo y nutracéutico del fruto, expresado en los contenidos de provitamina A (principalmente β -caroteno), vitamina C (ácido ascórbico), vitaminas del complejo B tales como tiamina, niacina y vitamina B12, niveles de proteína y fósforo, azúcares, elementos minerales y antioxidantes (Fischer, 2000; Fisher *et al.*, 2005). La interacción genotipo - ambiente puede también influir sobre la calidad nutricional y funcional del fruto e incrementar sus posibilidades de valor agregado con denominaciones de origen.

El valor nutracéutico (antioxidante) del fruto y de la planta de *P. peruviana* ha sido atribuido empíricamente en diferentes regiones de Colombia donde se le reconoce por sus propiedades medicinales tales como las de purificar la sangre, disminuir la albúmina de los riñones, aliviar problemas en la garganta, fortificar el nervio óptico, limpiar las cataratas, controlar la amibiasis (Corporación Colombia Internacional, 1994). También se ha encontrado que extractos de *P. peruviana* poseen actividad antioxidante capaz de inducir apoptosis en células cancerígenas humanas, lo que puede ser una estrategia para la terapia del cáncer (Xu y Shete, 2005; Yen *et al.*, 2010).

De la especie *P. peruviana*, se han extraído metabolitos bioactivos como compuestos fenólicos del grupo de los carotenoides con propiedades antioxidantes, y withanólidos, como las perulactonas los cuales poseen un amplio espectro de propiedades biológicas y actividades farmacológicas incluyendo: actividad repelente y anti-alimentaria de insectos, hepatoprotector, inmunomodulador, antibacterial, antiinflamatorio, antitumoral, agente anticancerígeno, actividad citotóxica y citotoxicidad para líneas celulares cancerígenas de cáncer de pulmón, de mama y de hígado (Choudhary *et al.*, 2005; Fang *et al.*, 2009; Lan *et al.*, 2009; Ramadan, 2011).

También se han encontrado physalinas, que son pseudoesteroides con actividades anticancerígenas e inmunosupresoras que pueden ser empleadas para inhibir respuestas inmunes indeseadas en enfermedades autoinmunes, alergias y trasplante de órganos (Puente *et al.*, 2011). Además, el fruto de la uchuva tiene potencial para la extracción de aceite a partir de sus subproductos (piel y semillas), ya que el fruto es rico en aceites, antioxidantes naturales y fitoesteroles (Ramadan y Moersel, 2009). Lo anterior permite colegir que sus propiedades nutracéuticas,

organolépticas y tipos de metabolitos se constituyen como una valiosa alternativa de sostenibilidad y ampliación de oferta de productos mediante la bioprospección de genotipos, genes, proteínas o metabolitos procedentes de la agrobiodiversidad de la especie.

Con relación al aspecto fitosanitario, la uchuva, al igual que otras especies de la familia de las solanáceas presenta una alta susceptibilidad a patógenos que afectan de forma significativa los cultivos (Carreño *et al.*, 2007). Estos taxones son comúnmente atacados por patógenos que limitan la producción y la calidad final del producto, siendo uno de los más reconocidos el hongo *Fusarium oxysporum*, agente causal del marchitamiento vascular en varias especies de frutales y hortalizas que incluyen no solo la familia de las solanáceas sino también pasifloras, flores y musáceas, entre otras (Beckman, 1987).

Según la Sociedad Americana de Fitopatología (APS, 2011), de 108 especies de plantas consideradas de importancia económica, 81 presentan al menos una enfermedad asociada a *Fusarium*. Los síntomas característicos del marchitamiento vascular ocasionado por este hongo son epinastia, retraso del crecimiento, amarillamiento y marchitez progresiva de las hojas y del tallo, llevando con frecuencia a la muerte de la planta; en cortes de tallos se observa una coloración marrón en la zona de los vasos del xilema (Agrios, 1998).

Actualmente, existen dificultades para el control de *Fusarium* en diversos cultivos, relacionadas principalmente a factores como la resistencia que este hongo ha desarrollado a muchos de los fungicidas comúnmente utilizados, su persistencia en los suelos gracias a su capacidad de producir estructuras de resistencia (clamidosporas) y su versatilidad fisiológica que lo convierte en un microorganismo cosmopolita (Beckman, 1987; Gordon y Martyn, 1997). Aunque en cultivos diferentes a la uchuva se han empleado diversos métodos de control (genético, químico, biológico y cultural), las características de supervivencia de las clamidosporas en el suelo han reducido la eficiencia de algunos de estos métodos (Garibaldi, 1987; Pera y Calvet, 1989; Szczech *et al.*, 1993; Cotes *et al.*, 2001; Kloepper *et al.*, 2004; Compant *et al.*, 2005; Linderman, 2005). Uno de los métodos más deseables de control está relacionado con el uso de variedades resistentes, lo cual se ha comprobado en diversas especies como lechuga, pepino y tomate, entre otras (Garibaldi *et al.*, 2004; Sheu y Wang, 2006; Huang *et al.*, 2008).

En Colombia, *F. oxysporum* es el responsable de pérdidas económicas importantes en cultivos comerciales a nivel de campo y bajo invernadero (Jaimes, 2007). Este hongo afecta seriamente la producción ocasionando pérdidas hasta del 100% en el cultivo de la uchuva y de otras solanáceas. Forero de La-Rotta y Quevedo (2005), en cultivos de uchuva del departamento de Cundinamarca, observaron síntomas de una enfermedad de tipo vascular con una incidencia que podía alcanzar niveles entre 10 y 50 %. Recientemente, mediante estudios morfológicos, moleculares y

pruebas de patogenicidad, se confirmó el hongo *F. oxysporum* como el agente causal de la marchitez vascular en Cundinamarca y Boyacá (Rodríguez *et al.*, 2012).

Esta enfermedad ha ocasionado desplazamiento de áreas de producción del cultivo principalmente en Cundinamarca que se destacaba como primer productor nacional, donde se concentraba cerca del 76% del área de producción en 2007. En la actualidad, Cundinamarca es el tercer productor (12,6%), después de Boyacá (60,8%) y Antioquia (20%) (Agronet, 2012). Esta enfermedad y otras ocasionadas por patógenos limitantes (v.g. *Ralstonia*, *Phoma*) y plagas, requieren para su control enfoques de tipo sistémico que involucren diferentes disciplinas del conocimiento y eslabones de la cadena de producción y la cadena de valor.

Así, en relación con las oportunidades y los problemas citados anteriormente, la bioprospección de frutales andinos con alto potencial social, económico y ambiental como la uchuva se perfila como una estrategia de gran relevancia, con altas posibilidades de generación de valor agregado para el mercado interno y de exportación. Esta debe incluir la exploración de la biodiversidad de la uchuva y especies relacionadas, así como la de sus microorganismos patógenos y benéficos asociados para la generación de cultivares resistentes y de alta calidad de fruto acompañados por el uso de bioinsumos derivados de microorganismos benéficos (v.g. biofertilizantes y biocontroladores) que incrementen el vigor y la fitosanidad de la planta.

Los productos y procesos generados mediante bioprospección pueden además beneficiar a otras especies (granadilla, pitahaya, maracuyá, flores, entre otras), v.g. mediante la validación de nuevos bioproductos o biotecnologías. El proceso debe ir acompañado de la exploración sistemática de nuevos genotipos, genes, proteínas y metabolitos, no sólo para incrementar la defensa o resistencia a patógenos limitantes, sino también para identificar y mejorar la calidad organoléptica, nutricional y el potencial nutracéutico, que permitan incrementar el valor de la producción primaria y la agroindustria del país. El proceso debe también involucrar la participación directa de productores de las diferentes zonas de los cultivos y de otros actores de la cadena a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), la Asociación Nacional de Exportadores (ANALDEX), la Corporación Colombia Internacional (CCI) y la Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFRUCOL), sirviendo a su vez como modelo para otras frutas.

5.2.1.8. Enfoque de bioprospección en uchuva

Las recomendaciones de los expertos en los talleres y discusiones regionales se centran en el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad de la uchuva y sus microorganismos asociados, con el fin de generar nuevas variedades con valor nutricional y nutracéutico para mercados nacionales e internacionales y el desarrollo de estrategias para el control de enfermedades limitantes como el marchitamiento vascular.

Módulos de la propuesta (primeros cinco años)

- i. **Generación de la línea base.** Se refiere a la consolidación y depuración de archivos de datos de germoplasma (para atributos de interés y respuesta a factores bióticos o abióticos, productos agroindustriales y bioinsumos asociados a los cultivos), del estado del arte del cultivo, inventario de fincas, comercializadoras, censo de productores, problemas fitosanitarios y de calidad, así como al estudio de mercado para valorizar la propuesta desde el inicio.
- ii. **Bioprospección.** Se refiere a la exploración sistemática de la agrobiodiversidad de la uchuva y de los microorganismos asociados a este cultivo (patógenos y benéficos) para la generación de cultivares resistentes a *F. oxysporum* o con fruta de alta calidad organoléptica, nutricional o con potencial nutracéutico; así como a la generación de nuevos biocontroladores y bioplaguicidas para el control de enfermedades e incremento del vigor y la fitosanidad del cultivo. Lo anterior se acompaña de estudios con enfoque sistémico desde el genoma, transcriptoma, proteoma, metaboloma y fenoma para contribuir efectivamente con la selección y generación de cultivares (clones, híbridos o variedades) y microorganismos asociados.

Avance: Para *P. peruviana* y especies relacionadas, se cuenta con colecciones en Corpoica, Universidad Nacional de Colombia y Universidad de Nariño, de más de 290 accesiones caracterizadas parcialmente a nivel morfoagronómico, químico y molecular, a partir de las cuales se han identificado plantas con buenos atributos de producción o calidad de fruto (Ligarreto *et al.*, 2005; Bonilla *et al.*, 2008a; Trillos González *et al.*, 2008; Muñoz *et al.*, 2010; Madriñan *et al.*, 2011; Morillo *et al.*, 2011), o con resistencia parcial a un aislamiento de *F. oxysporum* (González y Barrero, 2011). Se requiere la evaluación con otras razas del patógeno y la evaluación de atributos de interés en diferentes ambientes.

Se han generado marcadores moleculares tipo microsatélites (SSRs) (Simbaqueba *et al.*, 2011), microsatélites amplificados al azar (RAMs) (Bonilla *et al.*, 2008b; Muñoz Flórez *et al.*, 2008), polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs), Inserciones Delecciones (InDels), secuencia de genes Ortólogos Conservados (COSII) y se han identificado genes de interés a partir del transcriptoma de la hoja (Garzon-Martinez *et al.*, 2012), para estudios sistemáticos de diversidad y apoyo a programas de mejoramiento. Además, se cuenta con un protocolo de producción de plantas doble haploides (DH) con potencial de reducir el tiempo de mejoramiento y lograr calidades novedosas (Suescún *et al.*, 2011).

En cuanto a microorganismos patógenos, se cuenta con una colección de 25 aislamientos de *F. oxysporum* procedentes de fincas comerciales de uchuva en Cundinamarca y Boyacá, caracterizados por microbiología clásica, biología molecular y pruebas de patogenicidad (Rodríguez *et al.*, 2012).

En cuanto a microorganismos benéficos, en la Universidad Militar Nueva Granada se cuenta con cerca de 120 aislamientos de rizobacterias (*Pseudomonas*), cinco con potencial biocontrolador contra *F. oxysporum* (Urrea *et al.*, 2011). De otra parte, en Corpoica se cuenta con una colección de 303 hongos filamentosos y 249 levaduras con potencial biocontrolador de insectos plaga y de fitopatógenos del suelo, foliares y de postcosecha y con una colección de 45 bacterias y cinco micorrizas evaluadas con potencial biofertilizante. A partir de las anteriores colecciones se han seleccionado microorganismos asociados a calidad e inocuidad del cultivo (dos rizobacterias y un hongo para control de *F. oxysporum* y cuatro microorganismos con potencial biofertilizante). Los aislamientos de rizobacterias más promisorios para el control de *F. oxysporum* en uchuva pertenecen a los géneros *Bacillus spp.* y *Pseudomonas spp.*, a partir de los cuales se han desarrollado prototipos de bioplaguicida usando como ingrediente activo la biomasa de estos microorganismos producida mediante fermentación líquida, con los que se han obtenido resultados promisorios tanto de promoción de crecimiento como de actividad biocontroladora (Díaz *et al.*, 2012).

- iii. **Generación de bases de datos y desarrollo de productos.** Se refiere a bases de datos y productos de genes, metabolitos, genotipos (v.g. clones, híbridos o variedades) y microorganismos (biofertilizantes y bioplaguicidas) asociados para uso de productores, procesadores, comercializadores, gremio y academia.
- iv. **Plan de negocios.** Se refiere al plan para el posicionamiento nacional o internacional de los productos adelantados en los primeros 5 años con proyección de nuevos productos en el mediano y largo plazo.

5.2.1.8.1. Desarrollo de criterios de selección

De acuerdo con los parámetros de selección de los proyectos piloto, a continuación se desarrollan los seis criterios para la uchuva en concordancia con los lineamientos de la *Ficha para selección de Megaprogramas sujetos de financiación de estudios de factibilidad - Fondo de CT&I* del Ministerio de Hacienda, cuya metodología se describe en el capítulo 2.

5.2.1.8.2. Avance en diseño

PUNTAJE = 2. Fase 1 (prediseño)

El nivel de avance en el diseño del proyecto es prediseño; a continuación se señalan avances relevantes.

- Un inventario de fincas, comercializadoras y censo de productores ubicados en las zonas productoras. Sin embargo, la propuesta requiere actualizar este aspecto.
- Un inventario de 42 grupos COLCIENCIAS de varias instituciones del país relacionadas con investigación en uchuva en áreas de fitopatología, control biológico, biofertilizantes, fisiología y nutrición, agroindustria y poscosecha, biotecnología y fitomejoramiento; de estos, 16 se encuentran vinculados a la presente propuesta de bioprospección.
- Bancos de germoplasma de *P. peruviana*, especies relacionadas y de microorganismos patógenos (*F. oxysporum*) y benéficos.
- Avances en: Alimentos funcionales; caracterización y evaluación de colecciones de germoplasma de la planta; microorganismos con potencial biofertilizante y biocontrolador; estudios sobre resistencia a enfermedades limitantes (marchitez vascular por *F. oxysporum*); cultivo de tejidos, citogenética y protocolos para la generación de genotipos genéticamente puros para facilitar estudios genéticos o como una de las posibles estrategias al mejoramiento del cultivo; estudios ecofisiológicos para encontrar material adaptado, con resistencia o tolerancia frente a factores bióticos o abióticos; definición de rangos altitudinales o sitios ambientales probables para extender el cultivo; tecnologías de punta como la genómica, proteómica o metabolómica, que pueden lograr mayor eficiencia a través de alianzas con el Centro Nacional de Bioinformática y con entidades y redes internacionales de alto reconocimiento (por ejemplo, la red mundial de solanáceas (*SOL genomics network*), la red latina de solanáceas (LAT-SOL), la red europea de solanáceas (EU-SOL) y la red CYTED 112RT0460 cuyo proyecto “Caracterización y evaluación funcional y de seguridad de compuestos bioactivos de frutas iberoamericanas como ingredientes alimentarios (Cornucopia)” cuenta con grupos altamente especializados en biodisponibilidad, bioactividad y metabolómica). Se requiere una base de datos integrada nacional y una visión integral de las disciplinas y las tecnologías de punta.

5.2.1.8.3. Sensación de apoyo Departamental

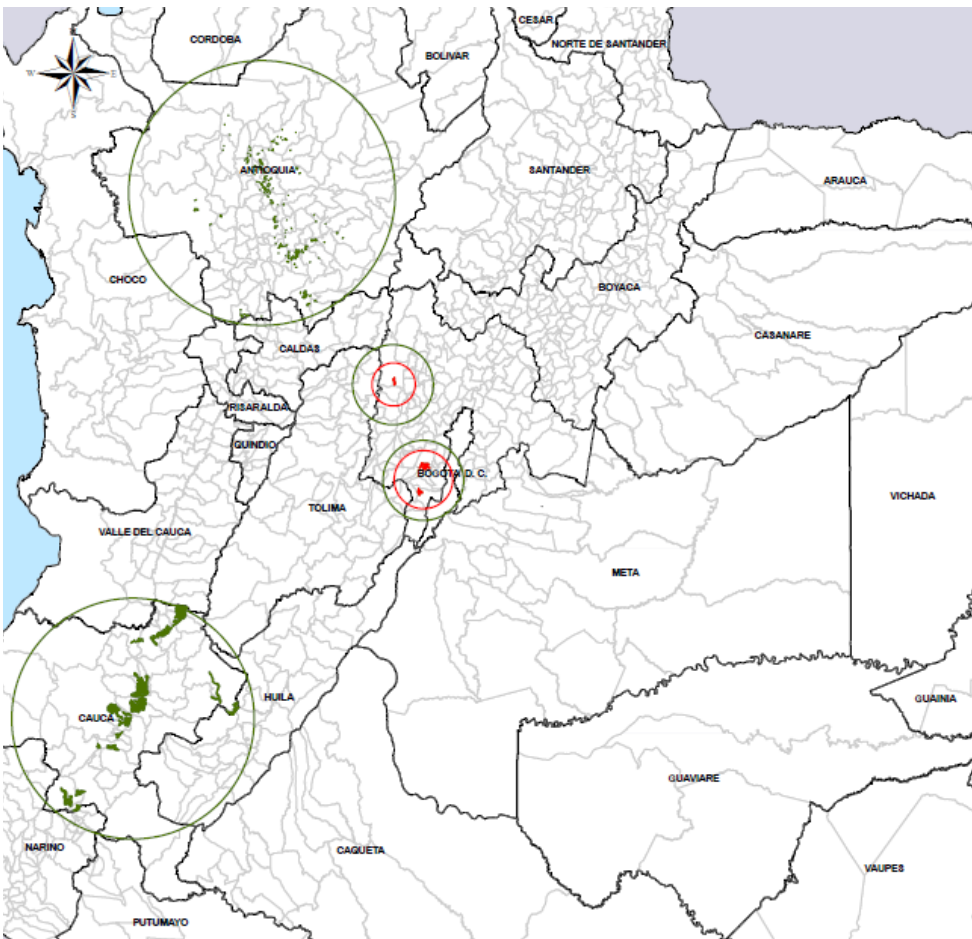
PUNTAJE = 3. Apoyo regional

La Sensación de apoyo de acuerdo a la demanda departamental es alta, por cuanto hay instituciones del conocimiento vinculadas así como departamentos interesados en bioprospección de la uchuva.

Los fondos parafiscales en cabeza del fondo hortifrutícola permiten establecer iniciativas de investigación e innovación que incluyan a asociaciones de productores con el apoyo del MADR, la participación de universidades departamentales y seccionales del SENA. Aunque se ha logrado poco respaldo de los actuales gobernantes regionales, es importante destacar que la uchuva es un frutal estratégico con posicionamiento en el mercado internacional que debe mantenerse o ampliarse.

En la actualidad hay 16 grupos de investigación (Pontificia Universidad Javeriana, Universidad de los Andes, Universidad de Nariño, Universidad Nacional, Universidad Militar, Universidad de Antioquia y Corpoica, entre otros), vinculados en temas de bioprospección de la uchuva en el país. Además, el análisis de las encuestas regionales del programa de bioprospección, llevadas a cabo de Enero a Abril del 2012, permitió identificar 26 grupos de 16 instituciones del país a nivel de universidades regionales, centros de investigación y SENAs interesadas en participar en la bioprospección de esta fruta en los departamentos de Nariño, Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Valle, Meta, Quindío, Bolívar, Caldas, Cauca, Tolima, Risaralda y Sucre.

Figura 4. Distribución de los cultivos de uchuva (en rojo) y lulo (en verde) a lo largo del territorio nacional. Fuente: Base de datos geográfica de CORPOICA, 2011.



Agricultores asociados por medio de la Cámara de Comercio de Bogotá han expresado la necesidad de fortalecer la cadena a través de iniciativas de investigación, desarrollo e innovación. Cerca de 1.100 productores, en al menos seis departamentos actuales y potenciales en sub-regiones de la Región Andina (Altiplano CundiBoyacense, Vertiente Magdalenaense de la Cordillera Oriental, Valles interandinos de la Cordillera Central, Valle del Cauca, Alto Magdalena) y Caribe (Sierra Nevada de Santa Marta) se beneficiarían directamente. Cabe anotar que un solo departamento contaría con más de 4.000 ha entre los 1.800 y 2.800 msnm aptas para nuevos cultivos de uchuva. Además, algunas regiones en los departamentos de Antioquia y Nariño son también actuales y potenciales productoras de uchuva. En el mapa (Figura 4), las zonas resaltadas en color rojo representan las principales zonas productoras de uchuva en la actualidad.

5.2.1.8.4. Riesgo Moderado

PUNTAJE = 4, 25% > P (fracaso)

La sensación de riesgo de implementación con base en antecedentes nacionales e internacionales es bajo, sin embargo, se enuncian algunos de los posibles riesgos que pueden estar asociados a la propuesta.

- Que la reglamentación en relación con el régimen de acceso a recursos genéticos y la propiedad intelectual no avance eficientemente en paralelo con los desarrollos propuestos (v.g. explotación de material biológico nativo). Este es considerado el mayor riesgo dada la reglamentación vigente.
- Que los genotipos caracterizados, evaluados y seleccionados no llenen las expectativas del mercado y que la fruta derivada de los mismos no cumpla con los requerimientos internacionales de calidad e inocuidad.
- Que las plantas (clones, híbridos o variedades) no resistan estrés a factores bióticos y abióticos presentes y futuros.
- Que las necesidades de los mercados no sean acordes con los productos derivados de la bioprospección.

Los riesgos técnicos se minimizan en la medida que se ha demostrado que la bioprospección y la biotecnología han sido exitosas en la mejora y generación de productos. Por tanto, el riesgo de fracaso en la generación de nuevos cultivares o bioinsumos con valor agregado es bajo. Como se ha mencionado anteriormente, diferentes grupos del país cuentan con avances y capacidades importantes. Cientos de publicaciones en revistas internacionales indexadas y múltiples empresas internacionales han demostrado que cultivos como cebada, arroz, brásicas, ají, berenjena, tomate, maíz y especies vegetales modelo como *Arabidopsis*, entre otros, se han beneficiado con la producción de dobles haploides, especialmente como parentales e híbridos (Aulinger *et al.*, 2003; Belicuas *et*

al., 2007; Chen *et al.*, 1994; Germanà, 2011; Maluszynski, 2003; Pickering *et al.*, 1992); con la aplicación de tecnologías de punta (ómicas) acopladas a los programas de mejoramiento convencional para la generación eficiente y exitosa de clones, híbridos o variedades con alto valor agregado (Abdurakhmonov & Abdukarimov, 2008; Edwards y Batley, 2010; Jackson *et al.*, 2011; Morrell *et al.*, 2011; Varshney *et al.*, 2009). En relación a los bioinsumos, Colombia dispone de prototipos de productos evaluados exitosamente de forma preliminar en uchuva, además de capacidades en talento humano altamente calificado, de laboratorios de investigación y desarrollo y de plantas piloto con capacidades demostradas de producción masiva y formulación de microorganismos hasta la obtención de bioplaguicidas y biofertilizantes con alta calidad tecnológica (estables en almacenamiento y campo, fáciles de aplicar y con demostrada eficiencia en los cultivos). Por tanto, Colombia puede llegar a ser un referente mundial en investigación e innovación de frutas como la uchuva con productos de Denominación de Origen, lo cual a su vez puede convertirse en modelo para otras frutas. La uchuva tiene ya un mercado ganado y con productos innovadores puede ampliar las posibilidades a nuevos mercados.

5.2.1.8.5. Sensación de TIREc

PUNTAJE = 3: 31 <TIREc

La sensación (cuando no se tengan estudios preliminares); con base en comparables nacionales o internacionales, de la Tasa Interna de Retorno Económica (TIREc) del proyecto, es alta.

La uchuva colombiana es un producto competitivo en el mercado internacional, con un crecimiento en productividad promedio de 20% anual y una TIR del 35% anual según estudios del proyecto Apoyo Alianzas Productivas (UNAL, 2007). En la actualidad, Colombia es el primer productor mundial y los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Antioquia son los principales productores de uchuva del país, concentrando más del 90% de la producción nacional (Agronet, 2012). La mayor amenaza tecnológica para este escenario promisorio es el patógeno *F. oxysporum* que produce pérdidas hasta del 100% a los agricultores colombianos, lo que afecta las exportaciones y por ende los precios en el país.

La generación de genotipos resistentes con alto valor agregado del fruto (con propiedades organolépticas, nutricionales y nutraceuticas sobresalientes para el mercado en fresco y la agroindustria), en asocio con sistemas de producción limpia y orgánica (v.g. bioinsumos), fortalecerá el sector primario y la agroindustria creando un sector atractivo a los inversionistas con una TIR igual o superior al 35% generando a su vez estabilidad en el mercado.

A manera de ejemplo, bajo el supuesto de 18,5 ha (37 productores, 1/2 ha por productor), los insumos de cultivo como funguicidas, herbicidas e insecticidas y abonos químicos y orgánicos representan el 77,6% de los costos totales de los insumos (UNAL, 2007); sin contar el costo de manejo de los residuos químicos sobre los frutos. La implementación de nuevas biotecnologías acopladas a la bioprospección podría reducir de forma significativa los costos y el uso indiscriminado de químicos, así como disminuir el impacto negativo a la salud de los trabajadores de campo y el medio ambiente.

5.2.1.8.6. Fortalecimiento SIN

PUNTAJE = 3: En dirección correcta del fortalecimiento de roles del SIN

El megaproyecto está dentro de los cánones de la distribución correcta de los objetivos misionales:

- COLCIENCIAS en formulación y evaluación de política
- Fortalecimiento de agencias operadoras capaces de asumir el reto

Se fortalecen las capacidades nacionales existentes en bioinformática, genómica y otras ómicas (v.g. nutrigenómica, metabolómica), genética, fitomejoramiento, bioquímica, fitoquímica, ecofisiología, microbiología y otras disciplinas. Se crea una red de grupos de investigación e innovación en uchuva como se plantea en el documento sobre prospectiva de la uchuva (Bonilla *et al.*, 2009). Las áreas de bioprospección de punta han sido priorizadas por el CONPES de Biotecnología 3697 (2011). La alianza sector productivo-investigativo-académico va en dirección correcta con la política de Ciencia Tecnología e Innovación (CTI) con posibilidades de replicar el modelo en otras frutas.

5.2.1.8.7. Efecto Demostrativo

PUNTAJE = 3. Alto efecto demostrativo

Hay sensación de efecto demostrativo para inspirar a entidades nacionales y subnacionales en el buen uso de la política de CTI para “resolver problemas”.

El proyecto impacta al sector agropecuario primario y como consecuencia al sector agroindustrial y comercializador: a) generando nuevos productos con valor agregado para alimentación y agricultura, y a futuro para cosmética, botánica medicinal y farmacéutica, b) contribuyendo al mejoramiento del nivel de calidad de vida de los productores y consumidores y c) sirviendo de modelo y con aplicaciones transversales a otras cadenas, con impactos principalmente en la Región Andina.

5.2.2. Caracterización y aprovechamiento de los recursos biodiversos de papa y sus organismos asociados, para la producción sostenible del cultivo para la soberanía y seguridad alimentaria del país

Sonia Jaramillo Villegas^{2*}, Claudia Ariza², Eduardo Noreña¹⁸, Gabriel Alvarado¹⁴, Ivan Valbuena¹⁴, Laura Villamizar², Luz Stella Barrero², María del Socorro Cerón¹⁴, Nancy Barreto¹⁴, Olga Pérez¹⁴, Silvia Restrepo⁴, Alba Marina Cotes²

Como resultado de los talleres nacional e internacional para establecer el “Megaprograma de Agrobioprospección para el Desarrollo del sector Agropecuario de Colombia”, y del proceso de socialización en las regiones, se acordó la estructuración de un proyecto en papa, como alimento básico de la canasta familiar y clave para la seguridad alimentaria del país que se describe a continuación.

5.2.2.1. Objetivo

Contribuir a la producción sostenible de la papa y a la seguridad alimentaria del pueblo colombiano.

5.2.2.2. Objetivos específicos

Relacionados con las plantas:

- Entregar al menos 100 nuevos materiales de papa en los bancos de *andigena* spp. y *phureja* spp., debidamente caracterizadas por resistencia a enfermedades y plagas, diferentes condiciones ambientales, calidad nutracéutica y rendimiento.
- Identificar genes relacionados con resistencia a factores bióticos y abióticos, metabolitos nutracéuticos e incorporar dichos genes a variedades de papa *andigena* spp. y *phureja* spp. Entregar materiales de papa en procesos de selección avanzada (por lo menos 10) y producir al menos cuatro nuevas variedades de papa para alimentación humana, animal y /o industria.
- Asegurar la producción de semillas certificadas para entrega a los clientes.

Relacionados con los micro y macroorganismos que favorecen el crecimiento y el control de plagas y enfermedades:

- Caracterizar microorganismos y organismos asociados a la rizosfera y al filoplano, para generar posibles biocontroladores de plagas y enfermedades y/o estimuladores del crecimiento.
- Identificar genes relacionados con la patogenicidad y los responsables de la viru-

*Corporación colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. sjaramal@gmail.com
Ver información de autores en el Anexo 1

lencia (interacción planta - patógeno), y aprovecharlos en los procesos de mejoramiento de las variedades.

- Conocer el estado poblacional de *P.infestans*, *S. subterranea*, y *T. solanivora* en al menos 12 municipios de los departamentos mas productores del país. Hacer cultivos a baja escala de los hongos patógenos y probarlos en laboratorio e invernadero.
- Incrementar la colección de cepas de microorganismos y organismos benéficos y patogénicos asociados al cultivo de la papa.
- Caracterizar con aplicación de las ómicas al menos 12 cepas promisorias para el control biológico de plagas y/o enfermedades y cuatro para estimulación del crecimiento y/o fijación biológica y toma de nutrientes por las plantas.
- Diseñar y evaluar medios de cultivo para la producción masiva y posterior evaluación a nivel de planta piloto y pruebas de eficacia en campo.
- Entregar bioproductos (al menos un biofertilizante, y un biocontrolador- biopesticida, o colonias de insectos parásitos o predadores de *T. solanivora* y otras plagas de papa).

5.2.2.3. Actividades:

- Incrementar el número de accesiones y caracterizar los nuevos materiales introducidos en las colecciones de la planta.
- Definir una colección núcleo representativa de la variabilidad existente en la Colección Central Colombiana (fase de premejoramiento) y constituir colecciones núcleo específicas para atributos de valor identificados.
- Caracterizar germoplasma disponible en los bancos de papa, por resistencia a factores bióticos y abióticos, nutraceuticos y calidad culinaria.
- Caracterizar las poblaciones de patógenos limitantes (*P. infestans* y *S. subterranea*) y organismos plagas (*T. solanivora*), presentes en diferentes regiones productoras del país y evaluar posibles biocontroladores (micro y macroorganismos).
- Caracterizar por ciencias ómicas, las especies de microorganismos benéficos e identificar genes de importancia económica.
- Caracterizar por ciencias ómicas, las especies de organismos benéficos y patogénicos para identificar genes de importancia económica, para la producción sostenible de papa.
- Identificar genes responsables de moléculas nutraceuticas y su incorporación a nuevas variedades.
- Evaluar formulaciones promisorias de bioinsumos (biofertilizantes y biopesticidas) y ajustar las operaciones a nivel de planta piloto.
- Evaluar materiales de papa con alta productividad y resistencia a plagas, para alimentación animal.
- Caracterizar la calidad de almidones y demás atributos requeridos en la industria.
- Producir nuevas variedades de papa *andigena* spp. y *phureja* spp., para alimen-

tación humana, animal e industria.

- Producir nuevos microorganismos benéficos con mayor capacidad biofertilizante y biocontroladora.
- Asegurar el suministro de semillas, mediante diferentes técnicas de multiplicación clonal de semillas certificadas.
- Desarrollar programas de manejo tecnológico del cultivo de papa apropiados para las diferentes altitudes y variedades.
- Generar programas de mercadeo para la promoción nutricional, nutraceutica, sabor y atributos de procesamiento de papa y/o alimentación animal.

5.2.2.4. Productos esperados

- Nuevas variedades de papa con características de interés incorporadas, por ejemplo, atributos de expresión cuantitativa como resistencia a factores bióticos y abióticos, rendimiento, calidad nutricional y nutraceutica y otros usos, para su valorización y aprovechamiento, mediante el empleo de todas las herramientas disponibles.
- Microflora asociada a los tubérculos y el follaje caracterizada; genes de defensa/resistencia a los patógenos, plagas (poblaciones de *P. infestans*, *S. subterranea* y *T. solanivora* en las diferentes regiones paperas) identificados; microorganismos biocontroladores, biofertilizantes y promotores de crecimiento de las plantas seleccionados con el fin de mejorar la sanidad y prolongar la vida útil de los tubérculos en almacenamiento.
- Bioinsumos incorporados con el fin de asegurar la producción más limpia y sostenible de papas *andigena* spp. y *phureja* spp., para alimentación humana, animal, industrias de alimentos, almidones, papel y textiles entre otros.

5.2.2.5. Mercado

A nivel mundial el volumen de ventas de la papa creció en un 9% entre 2006-2010, llegando a 333 millones de toneladas, con un gran aumento en China, con el 18% en el 2006 al 21% en el 2010. Aunque China tiene alto volumen de papa procesada, la producción *per capita*, no es tan grande, esto indica que allí también es una actividad de pequeños agricultores (BussinesStat, 2012).

El 11% de la producción fue vendida en la India y el 9% en Rusia. Se estima que entre el 2011-2015, el volumen de ventas se incremente a una tasa del 1.3% anual, lo que significa que para el 2015, las ventas mundiales de la papa podrían ser del orden de 326 millones de toneladas BussinesStat (2012).

Los factores que inciden en el incremento de producción, según BussinesStat (2012), son:

- La producción de papa está creciendo rápidamente en los países en desarrollo, los cuales tienen un gran potencial de consumo por el incremento de la población.
- La papa es la principal fuente de energía en la dieta para la mayoría de los pobres. Para gran número de productores se produce en parcelas relativamente pequeñas para consumo familiar. En corto tiempo la papa tiene la producción más alta que cualquier otro cultivo.
- Además de carbohidratos, la papa contiene la mayor cantidad de proteínas comparada con los demás tubérculos y raíces, un alto contenido de vitamina C y solo tiene el 1% de grasa.

La papa es el cuarto cultivo más importante del mundo y en Estados Unidos es el principal vegetal. Los Estados de Idaho y Washington produjeron en el 2010 más de la mitad de las papas del país (404.2 Millones de cwt* , un 7% menos que el año anterior, pero con un incremento del 5% en el precio, por menor oferta). El valor de la cosecha ascendió a US\$ 3,5 billones. Aproximadamente el 60% de la papas se venden procesadas como fritas a la francesa, hojuelas, deshidratadas y en otros productos. El resto va a los mercados para consumo en fresco, para alimentación animal y semilla para la próxima estación (Agricultural Marketing Resources Center, 2012).

Los Estados Unidos y Europa se han convertido en los principales mercados destino para la exportación de la papa amarilla originaria del Perú, en diversas presentaciones como congelada y en chips y cada vez existen más empresas que se dedican al procesamiento de papas nativas, que están logrando posicionarse en el gusto internacional. La superficie sembrada de papa en el Perú alcanzaría las 296 mil hectáreas durante el 2011 y su volumen de producción se calcula en 3.8 millones de toneladas. Para el 2012 se espera una producción de 4 millones de toneladas, de éstas el 95% se produce en la Sierra (RPP Noticias, 2011)

En Sudáfrica durante la Copa Mundial de fútbol de la FIFA, se calculó que los turistas consumieron 1.558 toneladas de alimentos a base de almidones de papa, frente a 860,3 toneladas de arroz, 461 toneladas de pan, 239 de hojuelas (chips). La proporción de consumo fue menor en otros tipos de panes, pastas y yuca (Potato South Africa Research Project, 2009).

En Chile se incrementó el área de producción en un 13 % para el 2010 y se obtuvo más de un millón de toneladas, gracias a los incrementos de los rendimientos, producto de las buenas condiciones climáticas y un incremento en el área sembrada motivado por el aumento del precio (Tapia, 2011).

Holanda y los países bajos tienen el más alto rendimiento con 45 toneladas/ha, los cultivos son mecanizados y tienen alrededor de 250 variedades mejoradas, la mitad

* Un cwt equivalente a 100 libras o 50 Kg, peso que deben contener los empaques que se manejan en las plazas de mercado de Colombia

de la papa sembrada es destinada al consumo en fresco, alrededor del 20% para semilla y el restante 30% para el procesamiento y obtención de almidón exportando alrededor de 700 mil toneladas de semilla certificada por año (FAO, 2008a).

En términos de la balanza comercial, se puede concluir que los principales países exportadores de papa fresca son Holanda, Francia y Alemania; como importadores sobresalen Bélgica y Estados Unidos; mientras que en Latinoamérica Argentina es exportador neto y en menor medida Perú, que se considera el competidor en el mercado de papas nativas de Colombia (Bonilla *et al.* 2009).

Los mercados de papas fritas: Según el USDA, se proyecta un permanente crecimiento de papas prefritas congeladas a nivel mundial, con una proyección del 5% para establecimientos de comidas rápidas y tiendas de mercado pequeñas. Se destaca el incremento de importaciones para Brasil, con 10%, igual que para Canadá, Japón y China, que vienen creciendo para satisfacer la demanda de establecimientos de comidas rápidas (USDA, 2011). Este comercio es ampliamente dominado por un grupo de países desarrollados quienes controlan el 93% del total exportado, destacándose los Países Bajos (Holanda) con 1,1 millones de toneladas, seguido por Canadá con 987.240 toneladas y Bélgica con 823.869 toneladas. Una parte sustancial de las exportaciones del Canadá van para los Estados Unidos (Bonilla *et al.*, 2009). A partir de los años 90s, ha tenido un gran incremento en productividad y área cultivada en China (primer productor) y la India, con alrededor de 6 millones de has y 85/320 millones de toneladas al año en 2008 y 106.672.890/329.951.307 toneladas para el año 2009 (GB Potato Council Market, 2011).

Importancia económica y social: Según la FAO (2008 b), la papa es un producto que contrarresta los altos precios de los alimentos, ya que su precio se considera estable alrededor del mundo. Para el período 1993-2020 se espera un crecimiento del 2.7%. La papa tiene un alto contenido de hierro y zinc, lo que evita enfermedades como la anemia, ceguera y contiene gran cantidad de minerales, vitaminas y proteínas de alta calidad (Anderson, 2010).

Caracterización del mercado nacional. En Colombia se cultivan entre 150.000 y 160.000 hectáreas de papa cada año. Los departamentos con mayor producción son Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia aunque ésta se cultiva en 14 departamentos del país. La falta de competitividad ha puesto en riesgo la seguridad alimentaria y social de los pequeños agricultores, quienes requieren de semillas de excelente calidad y nuevas variedades con mayor contenido nutricional y nutracéutico y con resistencia a plagas y enfermedades. En las labores directas del cultivo se genera empleo (trabajador)/ha, lo que se refleja en 150.000 empleos directos (más de 20 millones de jornales al año), cabezas de familia, que están conformadas por cuatro personas en promedio. Si solo se cubriera el 10% de las familias, se tendría un beneficio directo para 60.000 personas del país. De manera indirecta, la cadena

agroalimentaria dinamiza los sectores de transporte de insumos y productos, fertilizantes y agroquímicos, industria de papa procesada, entre otras actividades, lo que se traduce en desarrollo local, regional y nacional.

Según la Red RAET (2012), los productos comerciales que genera la cadena son: papa de año para consumo en fresco (histórico), papa de año para la industria (a partir de los años 80) y papa criolla (a partir del año 2000), siendo impulsada por iniciativas gubernamentales como la Apuesta Exportadora Agropecuaria 2006-2020. De otro lado, en la Tabla 6, se presentan las variedades de papa que han sido cultivadas en una u otra zona productora en Colombia y algunos productos procesados.

Tabla 6. Variedades de papa cultivadas en Colombia y productos procesados (Tomado de la Red RAET, 2012)

Producto	Producto en fresco	Producto Procesado
Papa capira	Papa morasurco	Papa precocida congelada (francesa o bastones)
Papa carmenia	Papa nevada	Papa enlatada
Papa carriza	Papa parda para lavar	Papa envasada
Papa Chitagá blanca	Papa parda pastusa	Papa frita, hojuelas o chips en paquete
Papa criolla limpia	Papa puracé	Flakes o copos de papa
Papa criolla para lavar	Papa R12 negra y para lavar	Papa lavada y empacada en Bolsas de diferentes tamaños
Papa Cumanday	Papa R 12 roja	Almidón y Harina de papa
Papa Gualcalá	Papa roja peruana	Fécula de papa
Papa ICA Morasurco	Papa ruby	Gránulos de papa
Papa ICA R18	Papa sabanera	Sémola de papa
Papa ICA Huila	Papa sabanera para lavar	Pellets de papa
Papa San Félix	Papa Tequendama	Papa criolla preparada congelada
Papa San Pedro	Papa Tocana	Papa en rodaja empacada al vacío
Papa suprema	Papa Tocarreña	Papa en cuadritos empacada al vacío
		Papa pelada o partida empacada al vacío

En Antioquia se comenta que es difícil reemplazar la variedad Diacol Capiro, porque las amas de casa la prefieren y por tanto para introducir nuevas variedades, hay que hacer un trabajo de publicidad y ofrecer una papa de tan buena calidad como la Diacol Capiro, para que el comprador la busque en el mercado (Red RAET, 2012).

Dinámica de exportaciones e importaciones en los últimos cinco años. En la Tabla 7 se presentan las partidas arancelarias para la comercialización internacional

de papa, cuyas exportaciones para papa de año y criolla, se realizan en forma de productos con algún grado de procesamiento industrial. Las importaciones de papa fresca o congelada no son muy altas en Colombia con relación a los volúmenes mundiales aunque en los años 1998 y 2000, se presentaron dos incrementos importantes, en el primero se superaron las 15.000 toneladas y en el segundo las 38.000 toneladas (Red RAET, 2012).

Tabla 7. Código y descripción de las partidas Arancelarias asociadas a la comercialización internacional de la papa. Fuente: Red RAET, 2012, según Agronet, 2006, Becerra, 2011

Partida Arancelaria	Descripción de la partida arancelaria
07.01.10.00.00	Papas (patatas) frescas o refrigeradas para la siembra
07.01.90.00.00	Las demás papas (patatas), frescas o refrigeradas
07.10.10.00.00	Papas (patatas) aunque estén cocidas en agua o vapor
07.10.10.00.00	Papa criolla congelada
11.05.20.00.00	Copos, gránulos y "pellets" de papa (patata)
11.08.13.00.00	Fécula de papa (patata)
20.04.10.00.00	Papas (patatas) preparadas o conservadas (excepto en vinagre o ácido acético) congeladas
20.05.20.00.00	Papas (patatas) preparadas o conservadas (excepto en vinagre o ácido acético) sin congelar
20.04.10.00.00	Preparados de papa criolla congelados

Según la Red RAET (2012), los principales países proveedores de papa fresca o congelada para el 2008 fueron Canadá, Egipto y Bélgica. En los últimos años, Argentina y Estados Unidos han tomado importancia. Las exportaciones de papas frescas o refrigeradas entre los años 1991 y 2008 tuvieron un comportamiento irregular con tendencia decreciente, principalmente para Venezuela, con el 90% de los volúmenes comercializados, fresca o refrigerada. Éstas últimas han tenido tendencia al alza pasando de 800 toneladas en el 2003 a más de 3.000 toneladas en el 2008.

En contraste con la información presentada en la Red RAET (2012), según la información tomada de las bases de datos de Proexport, el volumen exportado por Colombia de papas (patatas), frescas o refrigeradas (principalmente a Venezuela) fue de 104.025 toneladas y de precocida congelada de 284 toneladas, en el periodo comprendido entre 2003 y 2008. Le siguen en orden de importancia las Papas (patatas) preparadas o conservadas con 1.967 toneladas. Entre los países destino para estas exportaciones se destacan Estados Unidos, Japón, Venezuela, Chile y República Dominicana. Con referencia a las empresas fuertes en exportación de productos transformados de papa criolla son importantes: Productos Yupi Ltda., Frito Lay de Colombia Ltda. CONGELAGRO S.A., Compañía Internacional de Alimentos, NATURANDINA Ltda., C.I AGRO S.A., Listo y Fresco, entre otras.

El volumen exportado de los productos de harina, fécula, sémola, copos, gránulos y “pellets” de papa es muy bajo y la agroindustria del país no ha incursionado satisfactoriamente en este nicho de mercado. En papas procesadas entendidas como preparadas y conservadas congeladas, Colombia presentó una balanza comercial negativa, debido a la escasez de materia prima para su transformación. En el año 2004 solo se exportaron 27.426 toneladas (Bonilla, *et al.*, 2009).

Ha sido difícil establecer las exportaciones de papa criolla, pero ha habido una respuesta positiva en los mercados externos, con presentaciones como puré, las croquetas, las duquesas, preparaciones para sopas, hojuelas, papas a la francesa, bolitas de papa, “hashbrowns”, entre otras. Colombia se ha consolidado en ciertos mercados como Japón con 76% de las exportaciones; este país tiene interés de que se mantengan de manera periódica, las cantidades y calidades de la papa criolla enviada, sin embargo, existen algunas dificultades con los tamaños y estacionalidad de la oferta productiva (Becerra, 2011, Red RAET, 2012).

5.2.2.6. Justificación

La producción mundial de papa fue de 329.581.307 toneladas en 2009 ocupando el sexto lugar después de la caña de azúcar, maíz, trigo, arroz paddy y leche de vaca; y supera ampliamente a la yuca, remolacha azucarera, y otros alimentos *comodities*. China ocupa el primer lugar en producción (73.281.890 toneladas) y la India el segundo (34.391.000 toneladas), para 2009 (AHDB. Potato Council, 2011).

El sector mundial de la papa atraviesa grandes cambios, puesto que se producía y consumía en alta proporción en Europa, Norte América y la URSS, ahora se produce en los países en desarrollo de Asia, África y América Latina, donde pasó de menos de 30 millones de toneladas a principios de los sesentas a más de 165 millones en 2007 (FAO, 2009). El cultivo de papa ha tomado gran relevancia en la India, por la alta generación de empleo, ciclo corto que permite hacer arreglos para producción intensiva y alta producción de materia seca, energía y proteína por unidad de superficie y tiempo, lo que hacen de la papa un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria nacional. Además genera mayor retorno económico por unidad de área y tiempo que los demás cultivos (Walker *et al.*, 2011).

A pesar de que la India depende de la variabilidad genética introducida, se han producido 42 variedades cuyo ciclo de vida hasta madurez fisiológica las agrupa en: cinco precoces (70-80 días), 26 intermedias (90-100 días) y 16 tardías (100- 110 días), las cuales están adaptadas a diferentes agroecosistemas (planos hasta altamente colinados, con variedades específicas por zona). Todas las variedades para ciclo de vida intermedio tienen resistencia a gota, mientras que hay variedades con resistencia al nemátodo *Globodera rostochensis*, plagas, virus, y 14 poseen resistencia múltiple a diferentes factores bióticos y abióticos. Además poseen propiedades industriales.

Según la FAO y el Centro Internacional de la Papa (CIP), aumentar la producción mundial de papa es vital para la seguridad alimentaria y para fortalecer el cultivo en los países en desarrollo, y proponen “una ciencia de la papa al servicio de los pobres”, para entregar a los cultivadores mejor calidad de semillas para siembra, variedades que sean resistentes a las plagas, las enfermedades, la sequía y el cambio climático, y sistemas agrícolas que hagan un uso más sostenible de los recursos. Cuando se logra un mejor almacenamiento y elaboración, se cubren las necesidades alimentarias, y se obtiene un cultivo comercial rentable, que puede impulsar el desarrollo económico y mantener los medios de subsistencia” (FAO, 2009).

Según la FAO y el CIP (2009) se calcula que dos terceras partes de papa que se produjeron en 2005, se destinaron al consumo alimentario de las personas, en una u otra forma. Las papas frescas se cuecen al horno, hervidas o fritas, y se utilizan en una gran variedad de recetas: en puré, tortitas, bolas de masa, croquetas, sopas, ensaladas o gratinadas, entre muchas otras modalidades de preparación. Igualmente, con el resto se obtienen productos para la alimentación del ganado bovino, porcino y las aves de corral, almidón para la industria, y tubérculos semilla para la siguiente cosecha.

Pensando en el aprovechamiento potencial por sus valiosos atributos, es necesario cambiar paradigmas, con el objetivo de construir nuevas estrategias, mediante la valorización del “savoir faire”, la promoción de una cultura de calidad y el desarrollo de un esquema de “marketing inteligente” (IICA, 2003).

Uso eficiente del agua: La papa produce más alimento por unidad de agua que cualquier otro cultivo intensivo como el maíz, la caña de azúcar, entre otros. Con la misma cantidad de agua, la papa produce más energía alimentaria que el arroz, el trigo y el maíz. Por ejemplo, por cada metro cúbico de agua aplicado al cultivo, la papa produce 5.600 calorías de energía alimentaria, en comparación con las 3.860 calorías del maíz, 2.300 del trigo y sólo 2.000 del arroz. Con el mismo metro cúbico, la papa brinda 150 gramos de proteína, el doble que el maíz y el trigo, y 540 mg de calcio, el doble que el trigo y cuatro veces lo que ofrece el arroz (FAO 2008c).

La planificación del cultivo de papa para aprovechar las condiciones ambientales en concordancia con las etapas de crecimiento, puede contribuir a reducir aún más el uso de agua. El cambio climático requiere del monitoreo del clima y de la humedad del suelo, para la programación oportuna de prácticas culturales y riego en las zonas apropiadas para esta labor. Por tanto, a futuro es importante construir los mapas de clima-suelo, con los registros meteorológicos como humedad del suelo y el aire, temperaturas promedio diurnas y nocturnas, radiación, entre otras, para la programación de las actividades culturales de los cultivos (FAO 2008c).

Uso excesivo de Agroquímicos: En Colombia, el segundo cultivo que más consume agroquímicos (fertilizantes y pesticidas) por unidad de área cultivada es la papa, por lo

tanto hay que generar nuevas variedades con mayor resistencia a plagas, enfermedades y con menor demanda de nutrientes. La bioprospección permite la identificación de genes o marcadores moleculares para su aprovechamiento mediante el uso de herramientas biotecnológicas, para la producción de variedades que garanticen la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo. Muchos de los organismos asociados al filoplano y rizosfera de la papa pueden ser aprovechados para el control de los microorganismos patógenos de la misma. Un objetivo racional de los programas de mejoramiento es producir variedades que requieran máximo cinco aplicaciones de fungicidas y tres de insecticidas, durante todo el ciclo del cultivo. Adicionalmente, hay que implementar programas de manejo adecuado de los agroquímicos y fertilización según las demandas reales del cultivo, puesto que los agricultores han tomado la costumbre de sobrefertilizar, incluso los cultivos que potencialmente no responden por el uso de semillas de mala calidad.

Alto potencial de productividad: El uso de semillas sanas y vigorosas, con condiciones climáticas adecuadas y un buen manejo del cultivo, asegura producciones con más de 50 t/ha, reduciendo así los costos de producción por tonelada producida. Por ejemplo, en Santa Rosa de Osos se han alcanzado 90 y más toneladas por hectárea, con semillas “Básicas” de Diacol Capiro y con la variedad Pastusa Suprema se ha alcanzado producciones de más de 80 t/ha (comunicación de C.A. Ríos FEDEPAPA, 2011). Para esto es necesario limpiar de patógenos la Colección Central Colombiana (CCC) y los materiales promisorios, con el fin de generar nuevas variedades e implementar técnicas como la aeroponía, para mantener la calidad, cantidad y oportunidad de los materiales para las diferentes regiones y satisfacer la demanda. En la India se han reportado 72.9 toneladas de papa orgánica por hectárea, como un nuevo record mundial en producción de papa orgánica (Patna, 2012).

En Escocia, ha aumentado la temperatura en un grado centígrado desde 1960 hasta el presente, lo que se tradujo en 8 días de reducción del periodo de emergencia de los cultivos de papa y un incremento en el potencial de producción de 8 toneladas por ha-año, lo que significa que se puede lograr más producción a menos costos económicos y ambientales, con menos presión por la tierra para la agricultura, frente a la presión que se ejerce por el crecimiento demográfico, con beneficios por la disponibilidad de agua más limpia, mayor producción de energía por unidad de área, mas tierra para turismo, factores que conducen a la producción sostenible, con uso más eficiente de los recursos. El Instituto Escocés de investigación se propone dirigir los esfuerzos de investigación en papa, para garantizar un sistema de producción sostenible frente al cambio climático, para lo cual se enfocarán al estudio de la resistencia a enfermedades corrientes y emergentes, para así satisfacer la demanda de alimentos saludables y de calidad alimenticia (Gregory, 2011).

En la región andina, los cruzamientos entre clones de *S. tuberosum* y cultivares de *S. andigena* nativos de Colombia, Ecuador y Perú, fueron muy positivos por

el excelente vigor híbrido heterocigótico, que dio origen a clones y cultivares que aumentaban la producción en 50% o más, generando plantas más precoces que las plantas de la subespecie *andigena*, con tubérculos más uniformes y de mayor tamaño (Estrada, 2000).

5.2.2.7. Enfoque de Bioprospección en papa

Las recomendaciones de expertos regionales se centraron en el desarrollo de estrategias para el control de enfermedades como la gota y sarna polvosa y la plaga polilla guatemalteca, mediante el aprovechamiento de la biodiversidad de papa, para producir nuevas variedades con resistencia y valor nutracéutico para alimentación humana y animal, producción de almidones y otros usos. A continuación se relacionan las ventajas de la papa para cumplir estas expectativas.

Centro de Origen y diversidad: Las papas nativas son los ancestros remotos de todas las variedades modernas que existen en el mundo. Son resultado de un proceso de domesticación y selección iniciado hace 8.000 años por los antiguos pobladores alto andinos, llegando hasta nuestros días con las mismas formas y colores como las conocieron los incas y sus predecesores.

A partir de las especies silvestres se creó una diversidad que enriquece la alimentación y que constituye una fuente de mejoramiento para las variedades modernas, por su gran capacidad para tolerar plagas y enfermedades, su estabilidad en el rendimiento y su tremenda diversidad de formas, colores y pigmentación interna de los tubérculos. El bajo rendimiento de muchos cultivares de papas nativas "*andigena*" se debe a que la mayor proporción de genotipos de la población son "endogámicos" de bajo valor genotípico, originados por autofecundación natural. Una menor proporción son genotipos "híbridos" intra - específicos de alto valor genotípico, originados por cruzamiento natural (Estrada, 2000).

El aislamiento durante muchos años en sus lugares de domesticación y adaptación, redujeron su potencial productivo como consecuencia de la endogamia, pero la adaptación al medio generó variabilidad entre genotipos con resistencia a estrés hídrico, tolerancia a las heladas, resistencia a diferentes plagas y enfermedades. Algunos genotipos son poseedores de alta resistencia horizontal, con alto rendimiento de tubérculos y buena calidad culinaria. La variabilidad encontrada en grupos de materiales nativos abre la posibilidad de hallar fuentes de resistencia para ser utilizadas en mejoramiento genético para la obtención de nuevas variedades (Estrada, 2000).

El reto es producir nuevas variedades mejoradas, especialmente con valor agregado por atributos que confieran cualidades extraordinarias: valor nutritivo superior, altos contenidos de materia seca y antioxidantes, variabilidad de contenido de azúcares reductores, ventajas de sabor, textura y cocción, para usos industriales.

Hay varias especies de papas amargas (Rea y Bacher, 1992); en Cochabamba (Bolivia) se han identificado dos especies de papas amargas y una especie semiamarga. Entre las primeras están *Solanum juzepczukii* ($2n = 36$ cr.) con 10 variedades, y *Solanum curtilobum* ($2n = 60$ cr.) con tres variedades; la especie semiamarga corresponde a *Solanum ajanhuiri* ($2n=24$ cr.) con seis variedades. La diferencia más importante radica en su resistencia o tolerancia a las bajas temperaturas, así las variedades de *S. juzepczukii* son más resistentes y algunas pueden soportar temperaturas de -5°C , en cambio las otras dos especies son menos resistentes, pero soportan alrededor de -2°C (Saravia, sf.).

La estrategia de mejoramiento basada en la recombinación de genotipos avanzados de programas nacionales e internacionales, con la agregación de valor existente en las papas nativas, ofrece una maravillosa oportunidad de aprovechar los buenos atributos existentes en los dos recursos genéticos. Para su correcta ejecución se requiere definir un esquema de transferencia genética, que incremente la eficiencia de generación de líneas parentales valiosas.

Las fuentes más útiles de mejoramiento, son los cultivares modernos y líneas avanzadas, adaptados al ambiente productivo (progenitores recurrentes), ya que poseen altas frecuencias de alelos y de combinaciones multialélicas favorables. También el cruzamiento entre líneas provenientes de mejoramiento divergente (líneas internacionales x nativas).

Las fuentes con mayor potencial para el mejoramiento genético, son las nativas (progenitores donantes), porque son reservorio de genes de expresión cuantitativa, acumulados durante largo tiempo para diferentes caracteres, especialmente resistencia genética a plagas y enfermedades. Su valor es inmenso para el futuro del mejoramiento, puesto que el mercado internacional valora y demanda características ecológicas, exóticas, de mantenimiento y aprovechamiento de la biodiversidad.

Según Estrada (2000) la heterocigosis y el número de alelos y los tipos de electroforesis, confirman que hay una mayor variabilidad en las poblaciones de los Andes que en las variedades de América del Norte y Europa. A Sevilla llegaron papas procedentes de Colombia, probablemente alrededor de 1570, con tubérculos de la subespecie *andígena* mientras la subespecie *tuberosum* salió de Chile.

Colombia es país de origen de papas cultivadas como las criollas del grupo *S. phureja* y otras y de especies silvestres del género *Solanum*, cuyos genes de resistencia a plagas, enfermedades y factores abióticos, pueden ser utilizados con herramientas biotecnológicas (v.g. cisgénesis) fundamentadas en la sintenia, para ser introducidos de manera más eficiente y rápida a las variedades actuales, que han perdido su resistencia a goma (*P. infestans*) y se han vuelto muy susceptibles a la sarna polvosa de la papa (*Spongospora subterranea*) y a la polilla guatemalteca (*T. solanivora*), para reducir de manera considerable el uso de productos de síntesis

química, que contribuyen a la contaminación ambiental y al incremento de residuos en los tubérculos. Es necesario recuperar la sostenibilidad de este importante cultivo para la soberanía y seguridad alimentaria de las regiones paperas del país.

El Centro Internacional de la Papa (CIP) posee 4.000 cultivares bien caracterizados procedentes de Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Argentina que representan una enorme variabilidad genética. Varios de éstos poseen tolerancia o resistencia a hongos, bacterias, virus, nemátodos, heladas o sequías, además de valiosos factores de calidad nutritiva y culinaria. La evolución de estos cultivares puede continuar *in situ*, mientras la erosión genética no conduzca a la extinción de estos clones nativos. Su excelente fertilidad hace que puedan ser cruzados con especies silvestres para obtener cultivares con múltiples características agronómicas deseables y de buena calidad para el consumo (Estrada, 2000).

La papa supera a los demás cultivos por su potencial para generar nuevas variedades con diversos atributos, porque posee cinco niveles de ploidía y casi todas sus especies (más de 200 agrupadas en 18 series) se pueden usar en cruzamientos sexuales, a pesar de las diferencias en el nivel de ploidía, debido a la capacidad de polinización de las especies diploides y triploides, que generan híbridos vigorosos, con alta fertilidad y adecuado apareamiento cromosómico, por la escasa diferenciación estructural de sus genomas, de tal manera que se pueden incorporar pequeños o grandes segmentos de cromosomas, según los requerimientos. Esto significa incluir genes simples o cuantitativos (Peloquin *et al.*, 1989).

Coevolución con microorganismos benéficos: Las papas han coevolucionado con microorganismos del filoplano y del suelo, que deben ser estudiados por su potencial para la toma de nutrientes, adaptación a condiciones extremas de clima, la regulación de patógenos del suelo y el follaje y el estímulo al crecimiento de las plantas (algunas especies de *Trichoderma*, bacterias fluorescentes y otros), razón por la cual algunos grupos de investigación del país como el Centro de Biotecnología y Bioindustria (CBB) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (corpoica), la Universidad Nacional sede Medellín y el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional (IBUN) han venido incursionando en este tema, con resultados prometedores.

Alto valor nutritivo y nutracéutico: La papa es superior a todos los otros cultivos en la producción de proteína por unidad de tiempo y superficie (Ross, 1986, citado por Estrada, 2000), y en la producción de energía. Su proteína es especialmente valiosa por el alto contenido de aminoácidos esenciales, no común en las proteínas de otras plantas. En ello se asemeja a la proteína de la leche y se complementa con las proteínas de otras especies como la de la soya (FAO, 2008 d).

Las papas de pulpa morada y roja, presentan altos contenidos de antocianinas y compuestos fenólicos totales que se distribuyen por todo el tubérculo y les confiere

su capacidad antioxidante. El contenido en los tubérculos de los diferentes genotipos de papa de pulpa morada y roja puede estar entre 11 a 174 mg de cianidina-3-glucósido/100 g de peso fresco y de 76 a 180 mg de ácido clorogénico/100 g de peso fresco respectivamente, dependiendo del lugar y genotipo, resultados que proporcionan información muy útil a los mejoradores e investigadores, para incrementar la capacidad antioxidante y el valor funcional de éstas papas para el consumo y las industrias nutraceuticas (Reyes, *et al.*, 2005). En Corpoica, se demostró que las papas nativas del grupo *Solanum phureja* poseen capacidad antioxidante intrínseca, debido a la presencia de metabolitos secundarios tales como ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos especialmente ácido clorogénico, esta actividad está altamente relacionada con el color morado y rojo de la papa; además, en un estudio *in vivo* con pollos de engorde se evidenció que la inclusión de papa en la dieta disminuyó la pre-oxidación lipídica de la carne de pollo durante su almacenamiento (García *et al.*, 2012).

Las papas tienen abundantes micronutrientes, sobre todo vitamina C: una papa media, de 150 gramos, consumida con su piel, aporta casi la mitad de las necesidades diarias del adulto (100 mg). Contiene una cantidad moderada de hierro, pero el gran contenido de vitamina C fomenta la absorción de este mineral. Además, este tubérculo tiene vitaminas B1, B3 y B6, y minerales como potasio, fósforo y magnesio, así como folato, ácido pantoténico y riboflavina. También contiene antioxidantes alimentarios, los cuales pueden contribuir a la prevención de enfermedades relacionadas con el envejecimiento, y tiene fibra cuyo consumo es bueno para la salud (FAO, 2008 d).

El sabor de las papas es excelente; algunas tienen sabor a nuez y otras a canela, con ventajas en textura y cocción, escaso pardeamiento durante el procesamiento y mayor contenido de materia seca. Estas enormes ventajas implican la disminución de saborizantes, que normalmente se utilizan para disimular el mal sabor de algunas papas comerciales o para adicionar un sabor cuando ésta “no sabe a nada”. La historia que existe detrás de cada variedad de papa que ha perdurado en el tiempo, junto con su vínculo específico a algunas etnias alto andinas, con denominación de origen, son elementos que les dan valor en los mercados especiales.

Los *copos de papa deshidratada* y la *papa granulada* se obtienen secando la papa cocida y molida, hasta lograr un nivel de humedad del 5% al 8%. Con estos copos se elabora el puré de papas que se vende en cajas, como ingrediente para preparar aperitivos y como ayuda alimentaria internacional; los Estados Unidos han distribuido copos de papa a más de 600.000 personas (FAO, 2008 e).

Otro producto deshidratado, la *harina de papa*, se obtiene de la papa cocida entera y mantiene un sabor característico. La industria alimentaria utiliza la harina de papa, que no contiene gluten pero sí abundante almidón, para aglutinar productos compuestos de diversos tipos de carnes y dar espesor a salsas y sopas. La industria

moderna es capaz de extraer hasta un 96% del almidón que contiene la papa cruda. El *almidón de papa*, un polvo fino y sin sabor, de “excelente textura”, da mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más gustosos. Se utiliza como aglutinante en las harinas para pastel, las masas, las galletas y el helado. En Europa Oriental y en los países escandinavos, las papas molidas se someten a tratamiento térmico para convertir su almidón en azúcares que se fermentan y destilan para producir *bebidas alcohólicas*, como el vodka y aguardientes típicos de esas regiones (FAO, 2008 e).

Ante la saturación del mercado por productos alimenticios convencionales, los derivados de papas nativas podrán disponer de “un nicho” en los mercados emergentes para paladares refinados (mercados gourmets), así como en alimentos orgánicos y dietéticos. La prioridad es realizar estudios rigurosos sobre usos potenciales de cada variedad de papa y determinar sus bondades ante distintos mecanismos de preparación como fritura, cocción u horneado, así como del resto de los atributos especiales.

Alimentación animal: Los residuos de papa tienen alto valor alimenticio y con gran digestibilidad para el ganado, razón por la cual puede reemplazar el 50% de la ración para la alimentación de los terneros y el 25% de la dieta para ganado lechero; a manera de ejemplo, cuatro libras y media de papa pueden sustituir una libra de cebada en grano (Olsen, *et al.* 2001).

El primer uso de la papa en Europa fue como forraje para los animales de granja. En la Federación de Rusia y en otros países de Europa Oriental, hasta la mitad de la cosecha de papa se sigue destinando para la alimentación animal. El ganado bovino puede recibir 20 kilogramos de papa cruda al día, mientras que los cerdos engordan rápidamente con una alimentación de 6 kilogramos diarios de papa cocida. La papa cortada en trozos y mezclada con el ensilado se cuece al calor de la fermentación (FAO, 2008e).

Es posible generar variedades amargas, con alto potencial productivo (más de 60 t/ha) y resistentes a plagas y enfermedades, con reducción de costos por tonelada y efectivas para la alimentación del ganado, lo que permite la generación de empleo en las zonas frías y la diversificación de las dietas alimenticias de la ganadería, para mejorar la digestibilidad y nutrición de los animales.

En Corpoica se evaluó el efecto de la suplementación de Almidón Resistente Retrogradado de papa en dietas para pollo de engorde hasta los 25 días de edad, sin afectar la digestibilidad de nutrientes ni el valor de energía metabolizable de la dieta. La suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) al 1%, permitió incrementar la relación vellosidad/cripta en el intestino delgado en 2.5 unidades con respecto al grupo control sin suplementar, mejorando la integralidad del tracto gastrointestinal de las aves (Ariza *et al.*, 2012)

Producción de almidones: Desde los Incas, el hombre ha deshidratado las papas, para calmar el hambre y alimentar a los soldados. En Europa y Norte América ha ocurrido algo similar. Las tendencias recientes se concentran en productos deshidratados incluyendo harina de papa, hojuelas, gránulos de almidón y conglomerados, tajadas secas y otros productos congelados, especialmente derivados de papas pequeñas y residuos de cosechas. También se comercializan papas peladas, alcohol y precocidas. La papa liofilizada, mediante la condensación de agua al vacío, genera una reducción significativa en los costos de sublimación y será un artículo masivo que permitirá inclusión social (Bär 2011). Se empleará en panadería, repostería y otros alimentos. Además se podrán almacenar los excedentes de las cosechas a más largo plazo. Las variedades amargas pueden ser empleadas para la producción de almidones para la industria de embutidos, la textil, papel entre otras.

El almidón de la papa también es ampliamente utilizado por la industria farmacéutica como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno, y por las compañías que perforan pozos petroleros, para lavar los pozos. El almidón de papa es un sustituto 100% biodegradable del poliestireno y se utiliza, por ejemplo, para hacer platos y cubiertos desechables. La cáscara de la papa y otros desechos "sin valor" de la industria, tienen un abundante contenido de almidón, que se puede licuar para obtener etanol apto para la producción de combustibles. Un estudio realizado en New Brunswick, provincia de Canadá productora de papa, calculó que 44.000 toneladas de desechos industriales de la papa podrían producir de 4 a 5 millones de litros de etanol (FAO, 2008 e).

Gran potencial para aprovechamiento de la biodiversidad y la biotecnología: Con el desarrollo de la biotecnología y la genética molecular, se podrán hacer cambios más rápidos y sorprendentes, la fusión de protoplastos permite obtener híbridos somáticos, mediante uniones simétricas entre especies distanciadas taxonómicamente, y mediante uniones asimétricas, usando solo fragmentos de cromosomas de uno de los padres, para evitar la incorporación de genes indeseables (Estrada, 2000). Se podrá reducir significativamente el tiempo y eficiencia en la producción de nuevas variedades, al aplicar las diferentes técnicas que proporciona la biotecnología, como cultivos *in vitro*, marcadores moleculares, ciencias ómicas y bioinformática.

El uso de herramientas analíticas como la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) ha generado varios cientos de valores de referencia. En el CIP, se han desarrollado calibraciones NIRS para estimar la concentración de proteína, fenoles y carotenoides totales y específicos (β -caroteno, luteína, zeaxantina, violaxantina, anteraxantina) en muestras liofilizadas y molidas de más de 5.000 accesiones de papa, así como en muestras de tubérculos frescos. Calibraciones para muestras de papas liofilizadas demostraron una buena precisión y pueden ser usadas para seleccionar genotipos con alta, media o baja concentración de proteínas,

compuestos fenólicos y carotenoides totales y específicos (Bonierbale *et al.* 2008). Corpoica en conjunto con el CIP, desarrollaron ecuaciones de calibraciones de *S. phureja* y *S. tuberosum* en muestras de papa cocida con y sin cáscara empleando NIRS, con altos coeficientes de correlación para la calibración en proteína ($r^2=0,97$), energía digestible ($r^2=0,70$) almidón ($r^2=0,61$) y fenoles totales ($r^2= 0,84$). Estas calibraciones se amplían cada año, incluyendo 120 muestras de diferentes entornos y características. Las calibraciones desarrolladas para tubérculos frescos, permiten predecir con gran exactitud, el contenido de proteínas, carotenoides totales y fenoles totales, pero las calibraciones para carotenoides específicos hasta el momento son poco precisas. Existe un sinnúmero de posibilidades de valorización por esta vía para identificar perfiles únicos para calidades específicas ligadas a lugares de origen y otras opciones.

Amplio grupo de investigadores en diferentes regiones del país, con contactos internacionales: En el año 2008, se entregó a FEDEPAPA, al MADR y a la Cadena Nacional de la papa, una propuesta elaborada por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y un representante de la Universidad de Wageningen, quien visitó oficialmente esta institución, dentro de un programa académico relacionado con la investigación avanzada en gota de la papa, en el cual se hicieron recomendaciones para el mejoramiento genético del cultivo, producción sostenible y cooperación internacional.

Se han recibido visitas de investigadores del Instituto Escocés de Investigaciones en Cultivos (SCRI, Pual Birch, Peter Gregory, Steve Whisson), en donde la papa es uno de los cultivos más estudiados y en correspondencia los investigadores colombianos han llevado a cabo estudios de este instituto; por lo tanto, hay una estrecha vinculación para los proyectos de investigación en papa y diferentes patosistemas. Igualmente, los doctores Weli Merz de Suiza (*Institute of Integrative Biology*) y Richard Falloon de New Zelandia (*New Zealand Institute for Crop & Food Research and MAF Quality Management, Lincoln, New Zealand*), han visitado la Universidad Nacional de Colombia y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, para discutir los avances de investigación en el patosistema *Spongospora subterranea*-papa y las posibilidades de intercambio de experiencias y entrenamientos.

La Universidad de los Andes mantiene estrechas colaboraciones con William Fry de la Universidad de Cornell, Sophien Kamoun del Sainsbury Laboratory y Niklaus Grunwald del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en el tema de la gota de la papa.

De otro lado, Corpoica ha mantenido varios convenios de cooperación con el Centro Internacional de la papa CIP, uno de ellos se enfoca en la evaluación y obtención de variedades mejoradas con buen comportamiento agronómico, resistencia a gota y características de consumo en fresco y procesamiento. Como resultado relevante

se liberaron dos variedades (Milenia 1 y Corpoica Mary) y actualmente se tienen seleccionados dos clones promisorios, los cuales están en pruebas de evaluación agronómica. En 2008 Corpoica y el CIP formaron una unión temporal para la evaluación nutricional y funcional de papa grupo *tuberosum* (común) y grupo *phureja* (criolla). Igualmente, la Universidad Nacional de Colombia, sedes Bogotá y Medellín, han venido realizando investigaciones desde los años 90s y han liberado más de ocho variedades de papa de los grupos *tuberosum* ssp *andigena* spp. y *phureja* spp. también se realizan actualmente hay evaluaciones regionales de otros materiales promisorios.

Cabe aclarar que Corpoica hace parte de la Red LATINPAPA cuyo objetivo principal es difundir clones avanzados de papa. Mediante un convenio Mc Cain, CIP y Corpoica, en el 2009 se liberó la variedad NOVA, con características sobresalientes para el procesamiento industrial (bastones o papas a la francesa). Con financiación del Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), participación del CIP y de productores, se hizo la caracterización morfológica, culinaria y gastronómica de 61 materiales nativos, dentro de las actividades del proyecto regional de Innovaciones Tecnológicas y Mercados Diferenciados para Productores de Papas Nativas.

La alianza de Corpoica con el sector privado (McCain) desde el año 2000 permitió realizar avances en la fase I de producción de semillas de papa que incluyeron el uso de sistemas de inmersión temporal para la propagación de material *in vitro* y el uso de sistemas de agricultura sin suelo para la sustitución de sustratos y agentes químicos de desinfección, con importantes avances en materia de tasas de multiplicación y costos de mini-tubérculos. En 2006, Corpoica en cooperación con el Centro de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Agraria La Molina en Lima, Perú, adelantaron acciones encaminadas a validar distintos sistemas de cultivo sin suelo para la producción de semillas en fase I, que contemplaron la capacitación de personal especializado.

En el Centro de Investigación Tibaitatá de Corpoica se validó y ajustó un sistema aeropónico para la producción de Semilla fase I con alta calidad genética y fitosanitaria, para lo cual se construyeron invernaderos según los requerimientos para la implementación de esta tecnología. En 2011, se construyó un invernadero automatizado de alta tecnología para la producción de mini-tubérculos de papa bajo el sistema de NFT (Nutrient Film Technique) a través de un convenio de cooperación técnica y científica con la empresa LIVING FOODS de Holanda.

En el área de control biológico de plagas de la papa, Corpoica ha desarrollado proyectos conjuntos con el Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y la Ecole des Mines d'Ales de Francia, encaminados al estudio de la biología y ecología de *Baculovirus* para el control de *T. solanivora*. Además, se mantiene una interacción con la Universidad Agrícola de Suecia (SLU) para el desarrollo de estrategias

de control para dicho insecto, mediante el uso de compuestos volátiles como feromonas y kairomonas.

Colombia inició las investigaciones sobre papa desde 1942, con un programa de producción de semillas en el sector Santa Elena- Las Palmas, Medellín, a la par con investigaciones en mejoramiento genético y otras disciplinas en Cundinamarca. Actualmente cuenta con 80 investigadores activos en las regiones productoras de papa del país, quienes pueden organizarse en red para adelantar un trabajo coordinado y en equipo, con apoyo del Centro Internacional de la Papa, universidades nacionales y departamentales, el Instituto Escocés de Investigaciones en Cultivos (Papa), la Universidad de Wageningen, la Universidad de Cornell, la Universidad de California en Riverside y la Universidad Agrícola de Suecia, entre otras. El país también tiene varios posgrados de investigación (maestrías y doctorados), en diferentes disciplinas; hay grupos muy consolidados en distintos campos del cultivo y sus patologías. Esta situación garantiza la obtención de resultados relacionados con la línea de investigación dentro de este gran programa de Bioprospección en el corto y mediano plazo.

Según la plataforma ScienTI de COLCIENCIAS donde se registran y clasifican los grupos de investigación más destacados del país, se encontraron 49 publicaciones referentes a papa y 24 grupos de investigación desde el año 2000, en distintos campos como fitomejoramiento, producción, sanidad vegetal, fisiología del cultivo y procesos agroindustriales. El Grupo de Investigación Interdisciplinario de Recursos Genéticos y Mejoramiento de Solanáceas ha sido el más productivo, seguido de INGAPO, lo que evidencia la amplia experiencia de estos grupos en el estudio de esta especie solanácea, convirtiéndose en candidatos importantes para el desarrollo de futuras investigaciones.

El Banco de Germoplasma de papa cuenta con más de 1.000 accesiones de papa de diferentes especies como *S. tuberosum* spp *tuberosum*, *S. tuberosum* spp *andigena*, *S. phureja*, *S. chaucha* y variedades de estas diferentes especies, el cual está bajo la custodia de Corpoica, entidad que además de mantener y conservar, desarrolla caracterizaciones de estos materiales, con el fin de identificar aquellos que presentan atributos de interés para los diferentes eslabones de la cadena. Así mismo, adelanta el programa de mejoramiento genético de papa tendiente a la producción de variedades de *S. phureja* con atributos agroindustriales y nutraceuticos.

La Universidad Nacional de Colombia posee una colección de trabajo de campo de papas criollas (nativas) con más de 100 accesiones. Muchas de ellas están siendo utilizadas y conservadas como recursos genéticos nativos y utilizadas para el mejoramiento de nuevas variedades, con el fin de potenciar características deseables en cuanto a calidad y rendimiento. Según Bonilla y colaboradores (2009), los productores que pertenecen a la agricultura tradicional han preservado durante muchos años material vegetal promisorio que ha sido utilizado para el mejoramiento

genético. Sin embargo, los nuevos clones presentan problemas de adaptabilidad en algunas regiones, y la generación de variedades para procesamiento agroindustrial, aún no han tenido aplicaciones completamente satisfactorias. Esto involucra acciones en los eslabones de la cadena que involucran a los investigadores para resolver el problema de los productores agrícolas y la agroindustria, para así satisfacer la demanda con calidad y eficiencia.

La infraestructura de laboratorios, invernaderos y campos experimentales, están ubicados en cuatro Centros de investigación de Corpoica, el Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), CorpoGen y las sedes de las universidades públicas y privadas que adelantan investigaciones en papa. Varios de los laboratorios tienen equipos robustos y equipos básicos para el trabajo en biología molecular, bioquímica, química orgánica, biorreactores para escalamiento de bioinsumos, entre otros. Se cuenta con una Federación (FEDEPAPA) constituida desde hace más de 40 años, la cual apoya la investigación y hace transferencia de tecnología, además la cadena ha conformado un Consejo Nacional muy activo y comprometido y Consejos Regionales, igualmente activos. Sus Secretarios Técnicos, Nacional y regionales, lideran las reuniones y demás actividades de la cadena. Hay una Agenda Nacional de investigaciones, la cual ha venido siendo actualizada y se han priorizado las actividades relacionadas con premejoramiento de la papa, para la producción de nuevas variedades con resistencia a factores bióticos y abióticos, con alto valor nutricional y nutracéutico y que presenten atributos para consumo en fresco, los diferentes usos industriales y/o para la alimentación animal.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se contempla que en este Megaprograma se debe incluir un proyecto sobre papa, con enfoque a cinco años con los siguientes módulos:

Módulos de la propuesta (cinco años), basada en la demanda:

- **Consolidación de línea base.** Bases de datos de germoplasma (para respuesta a factores bióticos-abióticos, productos agroindustriales y bioinsumos asociados a los cultivos), actualizar el inventario de fincas, comercializadoras, censo de productores, de problemas fitosanitarios y de calidad. Estudio de mercado para valorizar la propuesta desde el inicio. Bases de datos de caracterización, evaluación y pasaportes de los materiales contenidos en los Bancos de Germoplasma, depurados, para la identificación de colecciones núcleo según los objetivos planteados.
- **Bioprospección de la agrobiodiversidad de papa y los organismos asociados a estos cultivos.** Para la selección y generación de plantas resistentes o tolerantes a *P. infestans*, *S. subterranea* y *T. solanivora*, con calidades organolépticas, nutricionales y nutracéuticas, con propiedades industriales y

otros usos como alimentación animal, producción de almidones; así como la generación de bioestimulantes, nuevos biocontroladores y bioplaguicidas, para el control de las enfermedades gota y sarna polvosa de la papa y de la polilla guatemalteca. Estudios de genomas, transcriptomas y fenomas para la selección y generación de plantas (clones, híbridos o variedades) resistentes o tolerantes a factores bióticos y abióticos, con calidades nutricionales o nutraceuticas superiores y sus microorganismos asociados.

Avance: En papa se cuenta con el mapa genético, Banco de Germoplasma y colecciones de campo en Corpoica, Universidad Nacional de Colombia y Universidad de Nariño (más de 1000 accesiones de diferentes especies y variedades), algunas parcialmente caracterizadas a nivel morfoagronómico, químico, molecular y por resistencia a *P. infestans*, y a *S. subterranea*. A partir de éstas se han identificado plantas con buena calidad de tubérculos, productividad y resistentes o tolerantes a los patógenos señalados (premejoramiento). Se han generado marcadores moleculares y se cuenta con un protocolo de regeneración y producción de plantas *in vitro*. Se han liberado más de 30 variedades, de las cuales se han adoptado menos de 10 variedades, para consumo humano en fresco y procesadas. Es posible que algunas de las variedades que no fueron adoptadas se puedan evaluar para otros usos como alimentación animal, industria de almidones entre otros usos.

Hay varias colecciones de *P. infestans* (Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Universidad de los Andes, Universidad de Nariño), *S. subterranea* forma especial *subterranea* y bacterias endorrizogénicas y rizogénicas de papa con efecto sobre *S. subterranea* en la Universidad Nacional. En el Centro de Biotecnología y Bioindustria de Corpoica, se tiene una colección importante de baculovirus colectados en Colombia, algunos de los cuales son patógenos infectivos de *T. solanivora*, una colección con aproximadamente 300 mohos y 250 levaduras con potencial biocontrolador de insectos plaga y de fitopatógenos del suelo, foliares y de poscosecha y una colección de 45 bacterias y 5 micorrizas evaluadas con potencial biofertilizante.

5.2.2.7.1. Desarrollo de criterios de selección del cultivo de papa

5.2.2.7.2. Avance en el Diseño del Macroproyecto

PUNTAJE = 1. Fase 1 (Prediseño)

La propuesta cuenta con:

- Un **inventario de fincas** comercializadoras y censo de agricultores en las principales zonas productoras.

- Hay por lo menos **24 grupos COLCIENCIAS** en varias instituciones del país, que cuentan con experiencia de investigación en los patosistemas *P. infestans*/papa y *S. subterranea*/papa, en áreas de genómica, proteómica, bioinformática, ecofisiología, nutrición, manejo fitosanitario, manejo poscosecha, alimentos funcionales, caracterización y evaluación de colecciones de trabajo, microorganismos con potencial biofertilizante y biocontrolador, cultivo de tejidos y citogenética que podrían colaborar en la caracterización y evaluación de germoplasma existente y por colectar. Los grupos de genómica y otras ómicas pueden lograr mayor eficiencia a través de alianzas internacionales con entidades de alta reputación.
- **La Genotipificación y Fenotipificación parcial** de las colecciones de germoplasma base y de trabajo, requiere que se consolide una base de datos integrada nacional, para los estudios sobre resistencia a enfermedades y plagas limitantes como gota, sarna polvosa y polilla guatemalteca. Se requiere la estandarización de protocolos para la generación de genotipos y fenotipos que contribuyan al mejoramiento y sostenibilidad de cultivos. Estudios ecofisiológicos para encontrar material adaptado, con resistencia o tolerancia frente a factores bióticos o abióticos, y definición de rangos altitudinales o sitios ambientales probables (agroecosistemas apropiados para su cultivo), con el fin de extender el cultivo a zonas no protegidas ambientalmente, con obtención de alta calidad y productividad.

5.2.2.7.3. Sensación de apoyo Departamental

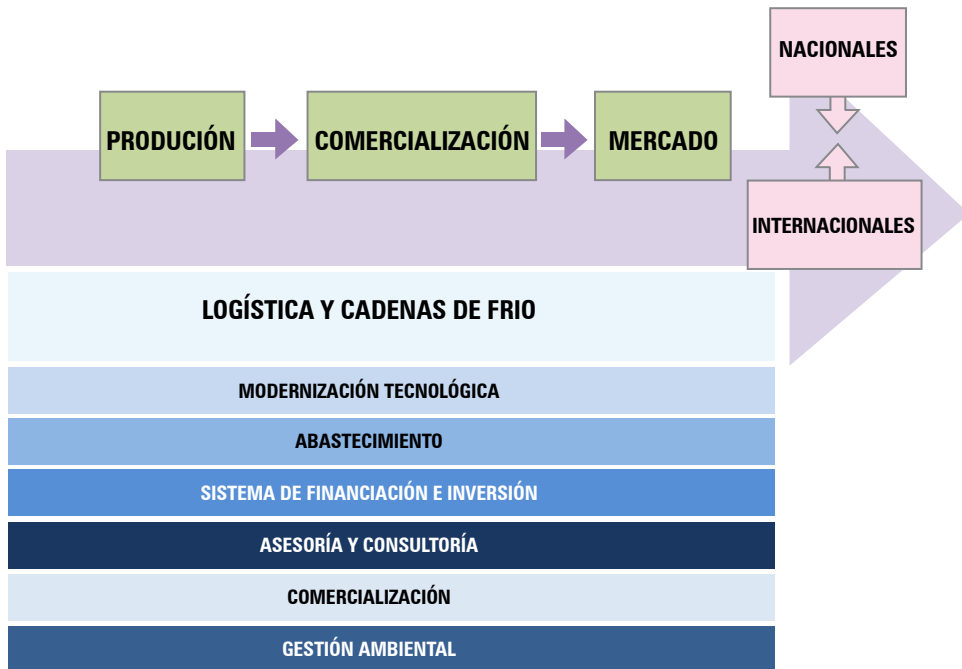
PUNTAJE = 3. Amplio Apoyo regional

Los fondos parafiscales en cabeza del fondo Hortifrutícola permiten establecer iniciativas de investigación e innovación que incluyen asociaciones de productores con el apoyo del MADR y la participación de universidades departamentales y seccionales del SENA. Como se pudo inferir del análisis de las encuestas regionales del programa de bioprospección, llevadas a cabo desde Enero a Abril del 2012, existe el interés por parte de todos los actores de la cadena de papa en participar en bioprospección en papa en los departamentos de Antioquia, Nariño y otros. El Comité Técnico Nacional de la Cadena de la papa, en un taller en Bogotá, abril 18/2012, “para cerrar las brechas”, hizo énfasis en las etapas de premejoramiento y producción de nuevas variedades de papa para diferentes usos y nichos de mercado. Aunque se ha logrado poco respaldo de los actuales gobernantes regionales, es importante destacar que la papa es un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria del país, y el Estado a través del MADR debe proveer los recursos para la investigación y desarrollo de actividades de premejoramiento y mejoramiento genético, para la producción de nuevas variedades y agentes biológicos para el control de enfermedades y plagas, con el fin de estimular el crecimiento y la producción más limpia.

El fortalecimiento de los mercados regionales impulsará la necesidad de un aumento de la producción, de la calidad y de los niveles de empleo en las zonas en donde se lleven a cabo dichos programas. Esto permitirá al mismo tiempo el desarrollo de programas de comercialización del producto para generar una mayor viabilidad económica al proyecto.

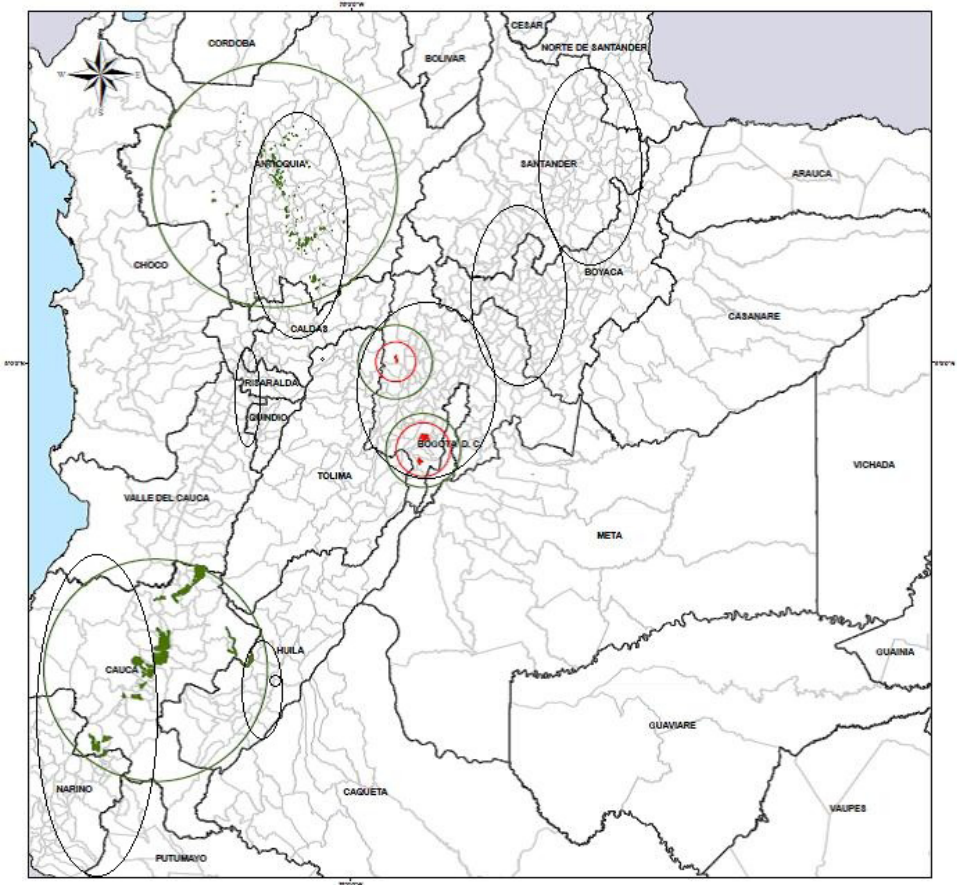
Dentro de los riesgos analizados están los problemas de infraestructura, logística y la ausencia de protocolos para la consolidación de una cadena de frío desde el productor hasta el mercado final, lo que permitiría la exportación de este tipo de producto a nuevos mercados con mayor éxito (Figura 5).

Figura 5. Esquema de cadena de valor para una mayor viabilidad económica



En el mapa son presentadas las zonas en las cuales este subproyecto tiene un impacto directo (Figura 6).

Figura 6. Distribución de los cultivos de papa a lo largo del territorio nacional. Alturas entre 1800 y 3000msnm en 14 departamentos del país, encerrados en óvalos. Con base en el Atlas Básico de Colombia. IGAC, séptima edición, 2008.



5.2.2.7.4. Riesgo Moderado

PUNTAJE = 3, 25% > P (fracaso)

A la sensación de riesgo de implementación con base en antecedentes nacionales e internacionales se le asignó un puntaje de 3, lo que indica que hay pocas probabilidades de fracasar, y las razones de fracaso podrían ser las siguientes:

- Que el régimen de acceso a recursos genéticos no avance eficientemente en paralelo con los desarrollos propuestos (v. g. explotación de material biológico nativo).
- Que los genotipos caracterizados, evaluados y seleccionados no llenen las expectativas de los cultivadores y que los tubérculos no cumplan con los

- requerimientos nacionales e internacionales de calidad e inocuidad.
- Que la disponibilidad de mercados no esté acorde con los productos derivados de la Bioprospección.
- Que los nuevos cultivares no resistan factores bióticos y abióticos presentes y futuros.

Ventajas. Las biotecnologías de punta han sido exitosas en la mejora y generación de productos, por tanto, hay poca probabilidad de fracasar en la generación de nuevas plantas o bioinsumos con valor agregado. Colombia cuenta con fuentes de resistencia genética a *P.infestans* y *S. subterranea*, con protocolos para la producción de semillas homogéneas a partir de plantas *in vitro* sanas y multiplicadas bajo aeroponía, además se cuenta con capacidades en genómica y otras ómicas, las cuales se deben reforzar con alianzas internacionales, para la aplicación de tecnologías de punta en la generación eficiente y exitosa de plantas mejoradas con alto valor agregado.

En bioinsumos, Colombia dispone de prototipos de productos evaluados exitosamente de forma preliminar para el control biológico de moscas blancas, *Rhizoctonia*, chizas, polilla guatemalteca, entre otras. Además cuenta con talento humano altamente calificado, laboratorios de investigación y desarrollo y plantas piloto con capacidades demostradas de producción masiva y formulación de microorganismos para la obtención de bioplaguicidas y biofertilizantes con alta calidad tecnológica (estables en almacenamiento y campo, fáciles de aplicar y con demostrada eficiencia en los cultivos). Se tiene un equipo técnico conformado por agrónomos y/o técnicos para las evaluaciones de campo, con el fin de determinar el potencial de los materiales y tecnologías generados en laboratorios y plantas piloto. La generación y validación de paquetes tecnológicos para los materiales evaluados en campo y el trabajo con grupos multidisciplinarios pueden asegurar el éxito de los productos obtenidos en los procesos de investigación, innovación y desarrollo tecnológico.

Por lo tanto, Colombia puede llegar a ser un referente mundial en investigación e innovación en variedades de papa, con base en las papas nativas, lo cual a su vez puede convertirse en modelo para otros cultivos.

5.2.2.7.5. Sensación de TIREc (Tasa interna de retorno económico)

PUNTAJE = 3.31 < TIREc

Las variedades de papas nativas son un producto competitivo en el mercado internacional. El MADR (2012) en la APUESTA EXPORTADORA NACIONAL consideró a la papa amarilla (criolla) dentro de los productos exportables conjuntamente con Café Especial Banano, Flores, Plátano y Algodón.

La generación de plantas resistentes o tolerantes con alto valor agregado del tubérculo (con propiedades organolépticas, nutricionales y nutraceuticas sobresalientes para el mercado en fresco, alimentación animal y la agroindustria), en asocio con sistemas de producción limpia y orgánica (v.g. bioinsumos) fortalecerá el sector primario y la agroindustria, creando un sector atractivo a los inversionistas con una TIR superior al 35%, generando a su vez seguridad al consumidor, por la obtención de un producto con menos residuos químicos y aportando valor al agricultor por la reducción significativa de los costos.

Es necesario la consolidación de un mercado altamente diferenciado, mediante estudios enfocados a identificar las necesidades específicas de ciertos países con mercados para este tipo de productos, con denominación de origen, debido a que el mercado interno presenta problemas para la comercialización que incluyen la ausencia de mercados especializados, acompañado del bajo desarrollo cultural de los consumidores y la ausencia de una conciencia de la importancia de los productos orgánicos y nutraceuticos en la salud de los seres humanos y el aumento de la calidad de vida, y lo beneficioso para mantener el equilibrio del ecosistema productivo.

Una estrategia para consolidar la oferta en mercados internacionales debe ser transversal al desarrollo de este tipo de productos, con el propósito de mejorar y fortalecer las ventajas que ofrecen los diferentes tratados comerciales que el país tiene vigentes con los mercados como el asiático, el europeo y el de Norteamérica.

5.2.2.7.6. Fortalecimiento del Sistema de Investigación Nacional (SIN)

PUNTAJE = 3: En dirección correcta del fortalecimiento de roles del SIN

Se fortalecen las capacidades nacionales en bioinformática, genómica y otras ómicas (v.g. nutrigenómica), bioquímica, fitoquímica, ecofisiología y microbiología. Se crea una red de grupos de investigación e innovación en papa como se plantea en el documento sobre prospectiva. Las áreas de bioprospección de punta han sido priorizadas por el CONPES de Biotecnología 3697. La alianza sector productivo-investigativo-académico va en dirección correcta con la política de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), con posibilidades de replicar el modelo en otras especies de la familia solanácea y otras familias de plantas.

5.2.2.7.7. Efecto Demostrativo

PUNTAJE = 3. Alto efecto demostrativo

La Sensación de efecto demostrativo para inspirar a entidades nacionales e internacionales en el buen uso de la política de Ciencia, Tecnología e Innovación

para “resolver problemas”, fue calificado con un puntaje de tres, correspondiente a un efecto altamente demostrativo para el cultivo de papa. El programa impacta al sector agropecuario primario y como consecuencia al sector agroindustrial y comercializador, generando nuevos productos con valor agregado para alimentación humana, la industria, alimentación animal, entre otros usos, que contribuyen al mejoramiento del nivel de calidad de vida de los productores y consumidores, que sirven de modelo y con aplicaciones transversales a otras cadenas, con impactos en la Región Andina.

5.3 Proyecto piloto: bioprospección de la agrobiodiversidad de *Theobroma* spp. y microorganismos asociados para su aprovechamiento en el mejoramiento de la calidad, resistencia a enfermedades y otros atributos de valor

Gabriel Alvarado ^{14*}, Yeirme Jaimes ²⁰, Alvaro Gaitán ⁶, Andrés Rodríguez ², Angélica Sandoval ³, Bertus Eskes ¹⁹, Carolina González ², Clara León ²⁰, Daniel Debouck ²¹, Leonora Rodríguez ³, Gildardo Palencia ²⁰, Héctor Arévalo ², Jaime Alberto Barrera ²², Luz Marina Melgarejo ¹, Luz Stella Barrero ², María Soledad Hernández ²², Reinel Flórez ², Roberto Coronado ²⁰, Víctor Núñez ², Wilson Terán ¹, Marjorie Santamaria ², Esperanza Torres ¹, Kattia Rosales ²⁶, Alba Marina Cotes ²

Teniendo en cuenta las recomendaciones de los expertos nacionales e internacionales para establecer el “Megaprograma de Agrobioprospección para el Desarrollo del sector Agropecuario de Colombia” descrito en el capítulo 2 y los resultados de los talleres y las actividades de socialización regional, en la cual participaron 22 regiones de Colombia, se elaboró el proyecto piloto de cacao que se describe a continuación.

5.3.1. Demanda

1. Materiales evaluados y caracterizados que responden a las exigencias de calidad, productividad y sanidad
2. Manejo fitosanitario
3. Procesos de beneficio de la calidad de grano de cacao y productos de la transformación de cacao por la industria
4. Efecto del cacao y sus derivados sobre la salud humana

5.3.2. Objetivo (primeros 5 años)

Desarrollar estrategias para el manejo de moniliasis, ampliación de la base genética y agregación de valor en Cacao.

* Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. galvarado@corpoica.org.co
Ver información de autores en el Anexo 1

5.3.3. Objetivos específicos:

- Aumentar, caracterizar y evaluar la base genética del cacao (*Theobroma* spp) para selección de accesiones promisorias y de progenitores.
- Caracterizar y evaluar a nivel ecofisiológico, organoléptico, molecular y nutricional materiales promisorios con potencial comercial en grano y pulpa derivado de *T. cacao*, *T. bicolor* y *T. grandiflorum*, especialmente para producción de cacao fino y de aroma, y para ampliar la gama de productos de valor.
- Evaluar y seleccionar materiales de cacao resistentes a enfermedades limitantes del cultivo y con atributos de producción, auto-compatibilidad y plantas enanas.
- Estudiar la biología, la genética, la variabilidad patogénica y la diversidad de *Moniliophthora roreri* como apoyo a programas fitosanitarios y de mejoramiento.
- Caracterizar la diversidad de microorganismos benéficos asociados al cacao con potencial para: a) el control de fitopatógenos, b) la fertilización del cultivo, c) el desarrollo de características de calidad del grano (v.g. aroma).

5.3.4. Productos esperados (primeros 5 años)

1. Base genética de la planta (*T. cacao*, *T. bicolor* y *T. grandiflorum*), ampliada y caracterizada a nivel genotípico (molecular) y fenotípico por atributos de valor.
2. Materiales promisorios y progenitores seleccionados y evaluados para calidad de grano (aroma, nutricional, potencial nutracéutico), producción y resistencia a enfermedades limitantes.
3. Base genética del patógeno (*M. roreri*) de las principales zonas productoras de cacao ampliada y caracterizada.
4. Metabolitos o genes de calidad presentes en las almendras y en la pulpa de la mazorca de cacao identificados para su valorización.
5. Nuevas tecnologías para generar valor agregado en pulpas y granos.
6. Microorganismos con potencial biocontrolador a *Monilia* y biofertilizante asociados al cultivo de cacao.

5.3.5. Mercado

Las perspectivas a mediano plazo de los productos básicos agrícolas indicaron que para el año 2010, la producción mundial de cacao tuvo una tasa de crecimiento anual de 2,2%, y llegó a 3,7 millones de toneladas. Las proyecciones indicaban que la participación de África en la producción mundial debería decrecer ligeramente del 69 al 68%, mientras que la del Lejano Oriente se mantendría en 18%, y la de América Latina y el Caribe en 14%, proyecciones que en su totalidad, fueron acertadas (FAO, 2010 a). La tendencia del mercado mundial del cacao

está encaminada a una producción sostenible que comprende: las políticas de producción para la sostenibilidad, los esfuerzos para mejorar el funcionamiento de la cadena de suministro, la preservación del medio ambiente durante la producción, la diversificación en los usos y aprovechamiento del cacao y una mayor eficiencia en el control de plagas y enfermedades. Estas últimas tienen un efecto muy negativo en los rendimientos de producción anual de cacao, requiriendo una expansión del cultivo, material de siembra de alta calidad genética y fitosanitaria asociado a un alto conocimiento genotípico y fenotípico y prácticas de manejo agronómico de los problemas limitantes. Al respecto, la identificación u obtención de un material de siembra resistente a las principales enfermedades, podría reducir considerablemente las pérdidas en el cultivo (ICCO, 2011).

A pesar de que el cacao se produce en los países en desarrollo o emergentes, éste se consume principalmente en los países desarrollados como los Estados Unidos de América, Alemania, Francia, Reino Unido y Rusia que compran el 71,5% de la producción mundial. Los compradores en los países consumidores son los transformadores y los productores de chocolate. Unas pocas compañías multinacionales dominan tanto la transformación como la producción de chocolate. Entre las principales empresas para la producción de chocolate alimentario se encuentran: Nestlé, Mars, Cadbury, Kraft, Hershey's, Barry Callebaut, Ferrero y Lindt; en efecto, si se suman las cuotas de mercado de las tres primeras empresas, se obtiene un 58% de la totalidad del mercado. Entre las principales productoras y distribuidoras de productos de cacao y chocolate para la confitería y otras industrias de alimentos se encuentran: Cargill, Archer Daniels Midland y Barry Callebaut. Algunas empresas más pequeñas en la misma línea de producción son: Schoking Schokolade Industrie, Guttard Chocolate Company, Blommer Chocolate Company y World's Finest Chocolate. El mercado de la fabricación industrial de chocolate está muy concentrado, donde Barry Callebaut tiene más del 51% del mercado (UNCTAD, 2011).

La producción mundial de granos secos de cacao es de aproximadamente 4 millones de toneladas, donde 2/3 se transforman en polvo y manteca de cacao y 1/3 se utiliza para la obtención de licor de cacao (aroma y sabor a chocolate). El mercado mundial de exportación de cacao es de \$5.000 a \$6.000 millones de dólares al año. Además, sólo en los Estados Unidos el uso del polvo y la manteca de cacao en la industria chocolatera, cosmetológica y otros productos, manejan un mercado de aproximadamente \$70.000 millones de dólares y abarcan 60 mil empleos (Guiltinan *et al.*, 2008). Colombia ocupó el cuarto lugar de producción de Cacao en el continente (FAO, 2010b), con una producción de aproximadamente 41 mil toneladas, con rendimientos entre 350 a 400 kg/ha y generación de más de 67,5 mil empleos (Fedecacao, 2011b; MADR, 2011; Ruiz *et al.*, 2009). En el acuerdo internacional del cacao del 2010 ICCO (International Cocoa Organization), Colombia se reporta como país que exporta parcial o totalmente cacao fino o de aroma (ICCO, 2010). Cabe resaltar que en la actualidad el país tiene 134 mil hectáreas sembradas, y el cacao colombiano se encuentra clasificado por el *Cocoa Council* de la ICCO como

cacao fino de aroma denominado “Trinitario” mediante resolución expedida en febrero de 2005 (Fedecacao, 2011a; 2011b).

El cultivo de cacao impacta significativamente el desarrollo económico y medio ambiental de las áreas productoras, donde cerca de 5,5 millones de pequeños agricultores son responsables de más del 90% de la producción mundial de granos secos y otros 14 millones de trabajadores rurales dependen directamente de este cultivo para su manutención (TCC, 2010). Al mismo tiempo, gran parte de la producción ocurre en áreas de alta biodiversidad (Franzen & Borgerhoff Mulder, 2007) y un número considerable de productores establecen el cultivo de cacao bajo sombríos o cultivos intercalados en arreglos agroforestales, proporcionando un hábitat rico y estable para muchas especies. Estas características de producción, hacen que el cacao sea considerado un cultivo amigable con el ambiente y con rentabilidades que permiten a los agricultores una actividad económica rentable más allá de la agricultura de subsistencia, permitiendo asociar este cultivo con servicios ambientales, contribuyendo así con el mejoramiento de su calidad de vida (Murphy, 2007).

En Colombia en el año 2010, se consumieron 52 mil toneladas de cacao (Ávarez & Zapata, 2011), de las cuales el 82% lo consumió la Compañía Nacional de Chocolates y Casa Luker, y el 18% restante se destinó al consumo de varias empresas procesadoras, entre las que se encuentran Girones, Italo, La Fragancia, Chocolasa y Tolimax, entre otras (Ruiz *et al.*, 2009). Sin embargo, aún existe un déficit del 22,95% en la oferta de cacao, razón por la cual el gobierno nacional tiene el desafío de incrementar la producción, lo cual es viable dado que el país cuenta con más de 650 mil hectáreas aptas para esta actividad, principalmente en los departamentos de Casanare, Antioquia, Boyacá, Caldas, Meta, Norte de Santander y Santander, entre otros (Ávarez & Zapata, 2011; MADR, 2011; Ruiz *et al.*, 2009). Así, el país cuenta con los elementos suficientes para convertirse en un gran exportador de cacao, meta trazada para el año 2019, cuando se espera tener 300.000 hectáreas sembradas y una producción de 450.000 toneladas, de las cuales 150.000 serán para el mercado interno y el excedente para exportación. Con esta perspectiva el sector generará 225.000 empleos, con 150.000 directos y rurales permanentes y los indirectos alcanzarán 75.000 (Castellanos *et al.*, 2007; Fedecacao, 2011a). De esta manera se podrá suplir la demanda interna, además de tener un valor exportable de la producción nacional y beneficiar a más de 70 mil familias.

5.3.6. Justificación

La chocolatería, confitería y las materias primas provenientes del cultivo del cacao es considerada una de las cuatro áreas estratégicas de enfoque del Sector Agropecuario incluidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 (Capítulo 3, Crecimiento Sostenible y Competitividad), en Nuevos Sectores Basados en la Innovación de

la Política de Transformación Productiva (DNP, 2010). Estos sectores han sido priorizados por su nivel de encadenamiento, su capacidad de generar empleo calificado y propender por el crecimiento económico y por el desarrollo tecnológico que pueden aportar a otros sectores de la economía. De esta manera, la focalización de esfuerzos y recursos en la cadena de cacao tendrá impacto no sólo sobre los sectores de transformación productiva, sino también efectos multiplicadores en otros sectores establecidos, creando oportunidades para la innovación (DNP, 2010).

El consumo de cacao ofrece beneficios sobre la salud humana debido al poder antioxidante asociado a altos contenidos de flavonoides en sus productos derivados. Los principales flavonoides del cacao y del chocolate son los flavanoles, la epicatequina, la catequina (unidades monoméricas), y polímeros de éstos, como las proantocianidinas, también denominadas procianidinas (Noe *et al.*, 2004). Dependiendo del método usado para su producción, el polvo de cacao puede contener hasta un 10% del peso seco en flavonoides, la disponibilidad aparente de éstos para los humanos se encuentra en un rango entre el 1 al 26%, dependiendo de la estructura química de los mismos, presentándose una ventaja en el consumo de productos de cacao ricos en flavonoides, ya que la epicatequina del cacao se absorbe rápidamente, por tanto el incremento de su concentración en el plasma va a depender de la dosis consumida. Además de la catequina y epicatequina, las procianidinas diméricas también son absorbidas, logrando detectarse en el plasma humano después del consumo de éstos. Es así como en la población danesa se encontró que la contribución del total de flavonoides de los productos de cacao y chocolate es un 20% de la ingesta de catequinas diarias (Noe *et al.*, 2004). El suplemento de cacao ejerce mejoras en la función de las plaquetas, decrece la oxidación del colesterol LDL (*low density lipoprotein*) e incrementa el colesterol HDL (*high density lipoprotein*) (Othman *et al.*, 2010; Valenzuela *et al.*, 2003). Además, se sugiere que los flavonoides tienen propiedades anti-teratogénicas, anti-cancerígenas, anti-inflamatorias, actividad inmuno-moduladora y antimicrobiana (Cook & Samman, 1996; Wang *et al.*, 2000; Majewska-Wierzbicka & Czczot, 2012).

Desde el ámbito de su desarrollo sostenible, el sistema productivo del cacao es un factor clave para el mejoramiento de la productividad y el aseguramiento de un retorno equitativo para los agricultores. Se debe resaltar el papel de la agroforestería en el desarrollo sostenible de la agricultura, definida por el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF) como un sistema dinámico, basado en la ecología y en el manejo de los recursos naturales que, a través de la integración de los árboles en la agricultura de la granja (finca) y el paisaje, diversifica y mantiene la producción para incrementar los beneficios sociales, económicos y ambientales para los usuarios de la tierra a todo nivel (Nair *et al.*, 2009). Es así como los Sistemas Agroforestales (SAF) con cacao son reconocidos por proporcionar servicios ambientales tales como el realce de la biodiversidad en los corredores, la conservación del suelo y el agua, el secuestro de carbono, y el constituir zonas de

amortiguamiento cercanas a hábitats de selvas tropicales en riesgo; estos servicios también pueden llegar a generar ingresos extras dentro del sistema productivo. Adicional a estos ingresos, en los SAF con cacao, también se generan ingresos por las especies forestales o frutales sembradas para sombrío y por el mismo cultivo de cacao (Clough *et al.*, 2009).

Pese a la importancia económica, social y ambiental tanto a nivel mundial como nacional, así como los beneficios del consumo de los productos derivados del cacao para la salud humana, este cultivo enfrenta varios problemas. Cada año, aproximadamente una tercera parte de la producción del cultivo del cacao se pierde debido a plagas y enfermedades, con un impacto potencialmente devastador sobre los pequeños agricultores, ya que su sustento depende básicamente de la salud del cultivo (Shapiro & Rosenquist, 2004). En Colombia, la principal limitante que afecta la productividad del cultivo de cacao es la moniliasis, enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri* y que puede llegar a ocasionar pérdidas en la producción entre el 40 y el 100%, dependiendo de las prácticas agronómicas del cultivo. Sumado a esta problemática, la mayor parte de plantaciones se encuentran establecidas con materiales híbridos poco productivos; se estima que tan sólo un 30% de las áreas sembradas en el mundo se encuentran establecidas con materiales que han tenido algún proceso de selección, ya sea por productividad o resistencia a enfermedades. Dado que la mayoría de las plantaciones contienen materiales viejos, en los planes de ordenamiento territorial de los departamentos productores, tal como el de Santander, se está contemplando iniciar procesos de rehabilitación de áreas cultivadas con materiales altamente productivos y resistentes a enfermedades, con el ánimo de suplir la demanda de los mercados especializados. Así mismo, podrían buscarse principios activos (Carrillo *et al.*, 2006) o microorganismos benéficos que contribuyan al control biológico de las principales enfermedades en el cacao y en sus parientes silvestres.

En la búsqueda de soluciones eficientes para los problemas sanitarios, varios países han enfocado sus esfuerzos al desarrollo de variedades clonales con resistencia a enfermedades y con una alta productividad. Un ejemplo de esto son los clones desarrollados en Asia resistentes al virus del brote hinchado y los clones TSH resistentes a “escoba de bruja” en Trinidad y Tobago (Rudgard *et al.*, 1993). Estos ejemplos indican el potencial del control genético en el manejo de las enfermedades destructivas del cacao. En este sentido, la biología molecular, la genómica u otras ciencias ómicas y la bioinformática, desempeñan un papel primordial en el desarrollo de los programas de mejoramiento genético, ya que la combinación de éstas con las metodologías convencionales de mejoramiento vegetal, pueden conllevar a la identificación de árboles altamente productivos con resistencia a las principales enfermedades del cacao, así como a la generación de híbridos o variedades en un menor tiempo; además, otras biotecnologías pueden facilitar la subsecuente propagación, preservación y distribución, lo cual puede beneficiar a los productores de cacao a nivel nacional y mundial.

En el caso particular de Colombia, la bioprospección del cacao y sus microorganismos patógenos y benéficos asociados, puede conducir al fortalecimiento del sistema productivo, mediante el empleo de biotecnologías de punta que apoyen los procesos de selección de materiales con: resistencia a las principales enfermedades, alta producción y valor agregado, todo dentro del desarrollo de un programa de mejoramiento genético de *Theobroma cacao* en el país. Para ello, se propone consolidar y caracterizar la variabilidad genética de *T. cacao* y especies relacionadas procedentes de los diversos bancos y colecciones de trabajo (v.g. clones) de Colombia (Corpoica, SINCHI, FEDECACAO), con herramientas de genómica y bioinformática de alto rendimiento; asimismo, estudiar la variabilidad para atributos de calidad, como el contenido en flavonoides y aromas por medio de metabolómica, resistencia a moniliasis, productividad y otros atributos con valor potencial (v.g. porte bajo de la planta). Además, se debe estudiar la fermentación del grano y el papel de microorganismos locales en el desarrollo de las características de aroma. Paralelamente, se pretende evaluar la variabilidad del microorganismo patógeno *Moniliophthora roreri* y el potencial de microorganismos benéficos asociados como biofertilizantes y biocontroladores de enfermedades para su control. Mediante colaboración internacional (v.g. CIRAD, CEPLAC, INIA, MARS, USDA, otros), es posible avanzar eficientemente en los enfoques bioprospectivos mencionados, de tal forma que se llegue al descubrimiento de nuevos marcadores, genes, proteínas o metabolitos de defensa o calidad nutracéutica y de aroma en nuestros materiales de cacao, posicionados por tres años consecutivos en el primer lugar en paneles internacionales por la calidad de su aroma y sabor.

Para el éxito de ésta iniciativa, se debe contar con la participación de productores de las diferentes zonas identificadas por el MADR, FEDECACAO y otras cooperativas y asociaciones de productores. Dentro de las regiones naturales actuales y potenciales para el desarrollo del cultivo de cacao están Andina, Orinoquía, Amazonia, Pacífica y Caribe. Tan sólo en el departamento de Santander se proyectan para el 2017, aproximadamente 21 mil nuevas hectáreas para incrementar el área sembrada, la producción y por ende, el acceso a nuevos mercados como el de exportación.

Visión al futuro:

El país enfrenta una serie de dificultades en la producción de cacao, ocasionadas por el deterioro y vejez de las plantaciones híbridas, manejo inadecuado, presencia de gran cantidad de árboles improductivos por efecto de autoincompatibilidad gametofítica y, como se mencionó anteriormente, por el impacto de las enfermedades, especialmente la moniliasis. Prueba de ello es que en 1993 se registró la mayor producción de cacao con 53.000 ton, mientras que en el 2008 fueron recolectadas 37.621 ton. En ese mismo año Colombia presentó un déficit de 15.000 ton para atender el consumo interno (Aranzazu *et al.*, 2009).

El MADR (Tami, 2011) ha incluido al cacao dentro de la oferta exportadora del país para el período 2006 a 2020, señalando varias fortalezas y oportunidades relativas al potencial del cultivo en Colombia, que deben servir de norte en la formulación de propuestas de investigación que contribuyan a la solución de los problemas que lo afectan: 1. Condiciones agroecológicas (clima y humedad) apropiadas para expandir su cultivo 5,4 veces a cerca de 650.000 ha. 2. Capacidad de producción de cacao fino y de aroma para la elaboración de chocolatería fina (solo el 5% del cacao del mundo tiene esta condición). 3. La producción del país debe suplir sus necesidades internas de cacao. 4. La actividad productiva factible en pequeños productores bajo un modelo asociativo. 5. Producto conveniente para la sustitución de cultivos ilícitos. 6. Colombia se encuentra en proceso de restitución y titulación de tierras a las víctimas del desplazamiento forzado, lo cual deberá ir acompañado de un proceso de desarrollo rural y productivo, el cacao es una de las alternativas productivas viables en dicho proceso. 7. Producto de importante demanda mundial con reciente tendencia al alza en los precios internacionales. 8. Producto incluido en la apuesta exportadora colombiana (Agenda 2006/20). 9. Capacidad industrial competitiva que permite ampliar la oferta exportable de valor agregado. 10. Incremento de áreas establecidas en sistemas agroforestales con inclusión de *Theobroma grandiflorum* y *T. bicolor* (parientes silvestres) en las zonas de producción del bosque húmedo tropical, cuyo potencial de uso son las industrias alimenticias y cosméticas.

Lo anterior indica que adicional a los sistemas de producción actuales, bajo arreglos agroforestales, se requiere construir un plan integral del “Sistema Productivo del Cultivo del Cacao en Colombia”, iniciando por el diseño de nuevos sistemas de producción (v.g. a pleno sol), que permitan escalar los niveles de productividad y asegurar su sostenibilidad económica como cultivo perenne. La concepción de estrategias de mejoramiento genético junto con la bioprospección de atributos de valor existentes en los granos y en la pulpa, entre otros, son parte esencial del abordaje del sistema productivo del cacao, que requieren el apoyo y complemento de muchas otras áreas del conocimiento científico y desarrollo tecnológico. Su formulación debe tener una visión de largo alcance, con el objetivo primordial de lograr un mejoramiento de la productividad, sostenibilidad económica y ambiental, así como la valorización de los productos derivados, que no sólo contribuyan a satisfacer las necesidades internas de la cadena productiva, sino también a generar importantes excedentes para exportación, posicionando la cadena del cacao como uno de los renglones de más impacto en la economía del país, estimulando a los productores para que además de producir materias primas, produzcan materiales, alimentos o nuevos productos, que capturen en gran medida el valor final del producto transformado (Alvarado, 2011).

Este plan integral del sistema productivo, no pretende una generalización indiscriminada de uso de uno u otro sistema de cultivo (sombra o sol), sino su utilización dentro de una concepción de mejor respuesta y aprovechamiento de las

condiciones particulares de suelo y clima, para brindar a los productores sistemas sostenibles de producción, que potencien la capacidad productiva, reduzcan el impacto de enfermedades limitantes y den garantía de la tradicional calidad del cacao colombiano. Las nuevas tecnologías de producción al sol, con empleo de fertilizantes y plantas de porte reducido sembradas a más altas densidades, generarán mayor producción y expresión de la productividad, especialmente en áreas sin limitaciones de suelo y clima, condiciones que favorecen netamente al cultivo y a la expresión de sus atributos agronómicos (Alvarado, 2011).

5.3.7. Enfoque de bioprospección en cacao

Como producto del taller realizado con expertos nacionales e internacionales en Diciembre de 2011 y posteriores visitas y consultas en las diferentes regiones de Colombia, se estableció que el enfoque para el desarrollo de la bioprospección del cacao en Colombia debía relacionarse con la evaluación y mejoramiento de los granos y de la calidad de la pulpa de cacao y la reducción de pérdidas causadas por moniliasis en Colombia.

Módulos de la propuesta (primeros cinco años):

- i. **Consolidación de la línea base.** Se refiere a la consolidación de un inventario de las colecciones de germoplasma de *T. cacao* y especies relacionadas y de los jardines clonales existentes en el país, así como de los materiales encontrados en las plantaciones, para identificar nuevos materiales de siembra como potenciales fuentes genéticas, ya sea que se encuentren en estado silvestre o en cultivos de agricultor o comerciales. Esto a través del trabajo interdisciplinario e interinstitucional entre el sector productivo, las entidades de investigación y la industria.
- ii. **Bioprospección.** Se refiere a la exploración sistemática de la agrobiodiversidad del cacao y sus microorganismos patógenos y benéficos con potencial biofertilizante y biocontrolador. Mediante el empleo de ciencias ómicas, se caracterizarán las colecciones a nivel del genotipo (v.g. mediante el uso de marcadores moleculares disponibles para cacao como microsatélites (SSRs) (Zhang *et al.*, 2009; Motilal *et al.*, 2009) o polimorfismos de un solo nucleótido (SNPs) generados mediante nuevas tecnologías de secuenciación de alto rendimiento) y del fenotipo (v.g. calidad organoléptica, nutricional y nutracéutica de grano, resistencia a moniliasis, tolerancia a estrés abiótico, productividad, compatibilidad y otras con valor potencial (Araújo *et al.*, 2009)). A partir de ello, se pretenden establecer estudios de asociación para la identificación de marcadores y genes relacionados con las características de interés para selección de genotipos deseables como apoyo a programas de mejoramiento convencional.

Paralelamente, se realizarán estudios de bioprospección y diversidad de distintos grupos funcionales de microorganismos benéficos naturalmente asociados con el cultivo de cacao (v.g. rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fosfatos, productoras de sideróforos o antifúngicos u hongos formadores de micorrizas), con potencial como biofertilizantes o biocontroladores de enfermedades y plagas; también se estudiará el papel de microorganismos locales en el desarrollo de las características de aroma.

Igualmente, se avanzará en la caracterización y el conocimiento de la estructura genética de las poblaciones de *Moniliophthora roreri* y su biología, como un proceso complementario a la selección de materiales resistentes a la moniliasis, para lo cual se prevé igualmente el uso de las ciencias ómicas.

Cabe resaltar que el genotipado y fenotipado de alto rendimiento de las colecciones de germoplasma, se proyecta con la colaboración de instituciones como el CIRAD o el CEPLAC, y otros, como parte de un gran programa de modernización para el cultivo de cacao. Las colecciones diversas, seguras y caracterizadas del germoplasma, deberán hacer parte de una plataforma para genetistas, mejoradores, agrónomos, patólogos, ecólogos, fisiólogos, biólogos moleculares y bioinformáticos, para incentivar un trabajo interdisciplinario, articulado y prospectivo en torno al conocimiento de las accesiones, sus posibilidades de mejoramiento, así como las posibles aplicaciones biotecnológicas que busquen aumentar la productividad y calidad del cultivo, con la seguridad que los conocimientos que se generen deberán ser de alta calidad científica y comparables internacionalmente.

Avances: En lo referente a la especie *T. cacao*, el Sistema Nacional de Bancos de Germoplasma cuenta con 410 accesiones caracterizadas parcialmente a nivel de fenotipo y genotipo. Corpoica cuenta con una colección de trabajo de 226 accesiones también caracterizadas parcialmente a nivel del fenotipo y genotipo. La caracterización genotípica se ha realizado a partir de una subpoblación de 52 árboles élite recomendados por Corpoica y FEDECACAO con 23 marcadores SSRs, seis de los cuales han permitido mayor discriminación entre los individuos (Barrera *et al.*, 2008). Paralelamente, Corpoica viene avanzando en la conformación de una colección de aislamientos de *M. roreri* provenientes de diferentes zonas cacaoteras del país para su caracterización y posteriores estudios de diversidad genética dentro de un programa de mejoramiento genético de *T. cacao*.

En cuanto a los parientes silvestres, el banco de germoplasma del género *Theobroma*, custodiado por el Instituto SINCHI en Guaviare, tiene accesiones de las especies *T. grandiflorum* (19 años de establecido) y *T. bicolor* (5 años de establecido) cuya procedencia está asociada a tres regiones geográficas: Iquitos (Ecuador), Belem do Pará (Brasil) y San José del Guaviare (Colombia). Los materiales fueron clasificados en ecotipos dependiendo de sus características morfológicas o agronómicas: 12 grupos

para *T. grandiflorum* (3001 al 3012) y 4 para *T. bicolor* (MB1 a MB4), algunos de ellos poseen características agronómicas de interés para llevar a cabo su explotación comercial (Moreno *et al.*, 2006). En la actualidad, el Instituto SINCHI avanza en la identificación de clones elite del *T. cacao* en la Amazonia Sur, con el fin de establecer la posible resistencia a las patologías que todo el género comparte.

iii. Identificación de genes, metabolitos o genotipos superiores. A partir de los resultados del módulo ii, se identificarán nuevas fuentes de: a) marcadores o genes potenciales para el programa de mejoramiento genético, b) metabolitos con potencial nutracéutico o relacionados con la defensa o la calidad del grano, c) genotipos sobresalientes para las características evaluadas, d) microorganismos benéficos promisorios. Se utilizarán herramientas para la selección asistida por marcadores o genómica aplicadas al programa de mejoramiento genético a nivel nacional (Fedecacao, 2011b; Jaimes & Aranzazu, 2010). Cuando sea necesario, se avanzará en técnicas de propagación, tanto *in vitro* como *in vivo*, para avanzar en la apropiación de variedades de cacao con alto potencial.

Avances: En Colombia, como resultado de procesos de selección de árboles elite, se dispone de un material de siembra de buenas características para su explotación y aprovechamiento por parte de los productores. Hay selecciones regionales con excelentes atributos, además de germoplasma introducido aún no utilizado como material de siembra, pero que ha sido previamente evaluado y seleccionado para su uso. Aranzazu y colaboradores (2009) corroboraron que en zonas sin restricciones de suelo y clima, los materiales de cacao presentaron un mejor desempeño agronómico, observando que el comportamiento preliminar de los mejores materiales regionales permitió establecer materiales promisorios con buena precocidad y altos rendimientos. Sin embargo, es necesario considerar el papel que ejerce la sombra asociada a los sistemas productivos de cacao, en la selección de plantas con mayor potencial productivo, y en su expresión. Debido a la heterogeneidad del sombrero, la expresión de mayor potencial productivo depende en más del 80% del efecto de factores ambientales y de la interacción con el genotipo del clon o híbrido, que de su base genética (< 20%). Las variedades del futuro deben aportar un aumento importante de la necesaria diversidad genética y de su mejor aprovechamiento y expresión, mediante el diseño de sistemas novedosos de cultivo intensivo, bajo condiciones de pleno sol, que potencien la expresión genética de sus atributos (Alvarado, 2011).

Limitantes y retos: A pesar de los avances anteriormente mencionados, debe considerarse que la reducción a la condición homocigota y casi homogénea del material genético utilizado en la propagación durante muchos años, ha favorecido la pérdida de tolerancia a enfermedades que poseían las plantaciones en las décadas de los 50's y 60's, cuando se introdujo a los países productores clones de cacao de calidad, de diferentes orígenes. Así, la estrategia de selección de árboles elite de alto

rendimiento en fincas de productores, ofrece tres limitantes que agravan la situación del cultivo: a) No se disponen de genealogía que permita establecer el origen, el pedigree y la diversidad genética que poseen. b) No existe claridad sobre si el comportamiento superior a nivel productivo de los árboles élite seleccionados para propagación se debe al genotipo o a su interacción con el ambiente, o simplemente a efectos netamente ambientales, porque en su lugar de siembra reciben más sol, dada la heterogeneidad del sombrero existente en los cultivos. c) Aumentan la homocigosis favoreciendo la homogeneidad y la fragilidad de las plantaciones al ataque de patógenos (Alvarado, 2011).

La productividad ha disminuido por envejecimiento de plantaciones, incidencia de enfermedades, y por el desestímulo ocasionado por la fluctuación de los precios internacionales además muchas plantas son improductivas por incompatibilidad gametofítica (auto e interincompatibilidad) (Aranzazu *et al.*, 2009). Se han realizado esfuerzos dirigidos al mantenimiento de colecciones y adquisición de variedades de cacao con características deseables, pero existen pocos datos que confirmen sus cualidades. La brecha entre producción real y lo pronosticado para árboles procedentes de semillas híbridas y clones de cacao ha aumentado. Se debe incorporar variabilidad genética a las plantaciones de cacao, mediante hibridación entre diferentes accesiones previamente seleccionadas por sus atributos, para aumentar productividad, lograr resistencia a enfermedades, mejorar la calidad y otros atributos que agreguen valor y que permitan ofrecerle a los productores variedades nuevas y mejoradas, que garanticen el futuro y potencial de la cacaocultura colombiana (Alvarado, 2011).

La estrategia de bioprospección en cacao debe mirarse con un enfoque integral que involucre sistemas de producción diversos, que potencien la expresión de genes, metabolitos, microorganismos benéficos o genotipos deseables. Colombia dispone de al menos 650.000 hectáreas sin limitaciones de clima y suelo para el cultivo del cacao bajo sistemas de alta productividad, que el gobierno nacional tiene interés en expandir como parte de sus políticas de desarrollo económico (Tami, 2011). Los impactos que podrán generar las nuevas tecnologías de producción al sol, con empleo de fertilizantes y plantas de porte reducido sembradas a más altas densidades, podrían significar mayor producción y expresión de la productividad, especialmente en áreas sin limitaciones de suelo, clima o condiciones que favorezcan netamente el cultivo y la expresión de sus atributos agronómicos (Alvarado, 2011). Estudios previos realizados en Landázuri (Santander) bajo condiciones de sol y uso de fertilizantes, corroboran esta apreciación; allí alcanzaron aumentos entre 40 y 50% adicionales en productividad (Uribe *et al.*, 1998). En el mismo estudio se citan resultados análogos obtenidos en plantaciones a pleno sol en Marsella (Risaralda), en la Zona Bananera y en el Municipio de Melgar (Tolima). Quizá la experiencia más exitosa de cultivos perennes a pleno sol registrada, es el caso del café, especie también considerada umbrófila (Triana *et al.*, 1957; Castillo *et al.*, 1988; Huerta, 1954).

5.3.8. Desarrollo de criterios de selección

De acuerdo a los parámetros de selección de los proyectos piloto se desarrollaron seis criterios en concordancia con los lineamientos de la *Ficha para selección de Megaprogramas sujetos de financiación de estudios de factibilidad - Fondo de CT&I* del Ministerio de Hacienda, cuya metodología se describe en el capítulo 2. A continuación se presentan los criterios desarrollados para cacao.

5.3.8.1. Avance en diseño

PUNTAJE = 2. Fase 1

El nivel de avance en el diseño del proyecto fue calificado con un puntaje de 2 correspondiente a prediseño ; a continuación se señalan avances relevantes.

- Próximamente se tendrá conocimiento actualizado a través del censo nacional cacaotero establecido por el gobierno nacional y la red de cacao, el cual es coordinada por Corpoica y cuenta con el aval del Consejo Nacional Cacaotero (CNC) y los diferentes actores de la cadena productiva del cacao. Con la información generada se pretende aunar esfuerzos de investigación a través del trabajo en grupos interdisciplinarios e interinstitucionales, con el fin de generar soluciones y herramientas para el desarrollo de este cultivo, donde se encuentren involucrados los centros de investigación, la academia, la industria y el sector productivo.
- En el país existen 10 grupos de investigación en cacao registrados en COLCIENCIAS, de los cuales 4 se encuentran ubicados en Santander (una de las principales regiones productoras del grano), y trabajan en temas relacionados con la cadena, en ciencias básicas, ciencias y tecnologías agropecuarias (Castellanos *et al.*, 2007). En el caso de Corpoica, además de los grupos de investigación que trabajan en este sistema productivo, se cuenta con el apoyo del Centro de Biotecnología y Bioindustria-CCB, que con su infraestructura en laboratorios de Genética Molecular Vegetal, Microbiología Molecular, Control Biológico, entre otros, apoyan transversalmente las actividades de investigación. También se puede contar con un apoyo sólido y complementario por parte de otras instituciones con trayectoria en investigación en éste y otros cultivos perennes como la Universidad Industrial de Santander (UIS), la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) sedes Bogotá y Medellín, la Universidad de Santander (UDES), la Pontificia Universidad Javeriana, la Universidad de la Amazonia, la Universidad Francisco de Paula Santander, la Universidad de Pamplona, la Universidad de Nariño y el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, entre otros, que poseen fortalezas de infraestructura y personal para

abordar las investigaciones en cacao en forma integrada y bajo diferentes enfoques.

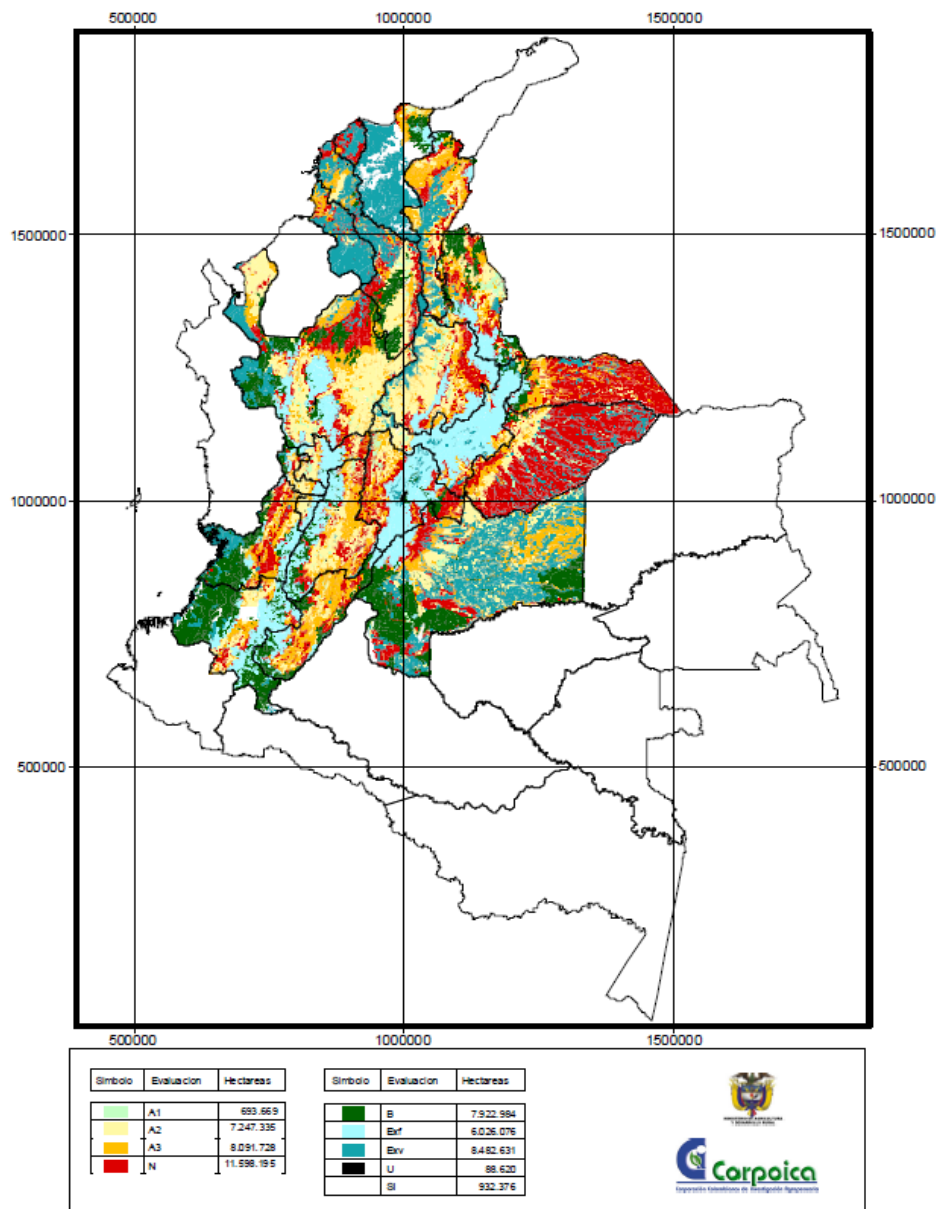
- Colombia cuenta con 410 accesiones de cacao que se encuentran en el banco de germoplasma de la nación, caracterizadas parcialmente. En la actualidad, se adelantan caracterizaciones organolépticas de 50 materiales de la colección de trabajo de Corpoica, para generar perfiles sensoriales que permitan identificar fuentes de metabolitos con potencial nutraceutico, de aroma y sabor, entre otros. Sin embargo, se requiere avanzar en caracterizaciones sistemáticas para dar respuestas a las problemáticas que enfrenta el cultivo, así como a generar posibilidades en nuevos mercados, tanto para *T. cacao* como para sus parientes silvestres copoazú y maraco, cuyas potencialidades están en el grano y en el aprovechamiento de la pulpa. En este sentido, las ciencias ómicas (v.g. genómica, transcriptómica, proteómica o metabolómica) permitirán avanzar eficientemente en la bioprospección de genes o metabolitos relacionados con resistencia a estrés biótico, abiótico y calidad de la almendra.
- Colombia cuenta, además, con la capacidad científica y de infraestructura para la conservación y propagación masiva y uniforme, mediante técnicas de cultivo *in vitro* y crioconservación de materiales, lo cual le permitirá ser autónoma en sus proyecciones y estrategias de mejoramiento como país productor de cacao superior.
- A nivel internacional, se destacan avances científicos y tecnológicos en cacao que van desde la revisión del género *Theobroma* (Cuatrecasas, 1964), hasta el establecimiento de mapas genéticos de alta densidad del genoma del cacao, la secuenciación reciente de su genoma, y el desarrollo de miles de marcadores SNPs con tecnologías de última generación, que están contribuyendo a una dirección racional de los programas de mejoramiento sistemático (Argout *et al.*, 2010). Esto abre un importante abanico de oportunidades para la caracterización exhaustiva de los numerosos materiales presentes en nuestras colecciones o en forma silvestre y la ampliación de la base genética de los árboles de *T. cacao* cultivados, parientes silvestres y clones élite amazónicos, que conducen a mayores posibilidades de mejoramiento y a la clasificación, conservación y uso inequívoco del germoplasma.

5.3.8.2. Sensación de apoyo departamental

PUNTAJE = 4. Demanda regional

La sensación de apoyo vs. demanda departamental, fue calificada con 4 dada la gran demanda de origen regional, como se enuncia mas adelante.

Figura 7. Distribución del cultivo de cacao a lo largo del territorio nacional. Otros departamentos no señalados en el mapa como Caquetá y Putumayo son potenciales. Fuente: Base de datos geográfica de Corpoica, 2011.



Uno de los objetivos del Fondo Nacional del Cacao, creado por la Ley 31 de 1965, es ejecutar o financiar programas de investigación, que en conjunto con asociaciones y cooperativas de agricultores, vienen apoyando activamente los procesos de

investigación ejecutados por las entidades que realizan la investigación en cacao en el país. Dada la importancia económica y social del cultivo, también hay apoyo de las gobernaciones de diferentes departamentos del país tales como Santander, Arauca, Norte de Santander, Tolima, Huila, Cesar, Antioquia, Meta, Boyacá, Caquetá y Nariño, así como de las alcaldías de municipios cacaoteros tales como San Vicente de Chucurí y El Carmen en Santander, Maripi y Pauna en Boyacá, Santa Rosa del Sur en Bolívar, Granada en el Meta, Maceo y Caracoli en Antioquia, Villarica, Cunday e Icononzo en el Tolima, Rivera, Garzón y Gigante en el Huila, Pueblo Bello y Aguachica en el Cesar, Arauquita, Saravena y Tame en Arauca, El Tarra, Tibú y Teorama en Norte de Santander, entre otros. Los municipios cacaoteros del país apoyan activamente estos procesos, con el fin de dar un soporte consolidado a la modernización del cultivo en las diferentes regiones. Como se observa en la Figura 7, este proyecto tendría una cobertura de por lo menos 10 departamentos a lo largo del territorio nacional.

5.3.8.3. Riesgo Moderado

PUNTAJE = 4, 25% > P (fracaso)

La Sensación de riesgo de implementación con base en antecedentes nacionales e internacionales, permite determinar un puntaje de 4, que señala que el riesgo corresponde al 25% o menos y se basa en las siguientes consideraciones.

- Que las políticas del régimen de acceso a recursos genéticos y propiedad intelectual no sean amigables y no avancen en paralelo con los desarrollos. Considerado el mayor riesgo dada la reglamentación vigente.
- La no identificación de fuentes genéticas de calidad o resistencia en la base genética de cacao en el país.

Paralelamente, las posibilidades de incrementar el valor de la propuesta se fundamentan en:

- Que las políticas nacionales fomenten la producción de granos de cacao de calidad e inocuidad.
- Que se amplíen los mercados de cacaos especiales y otros derivados del cacao, como grasas o mantecas con alto valor agregado.

El riesgo técnico se minimiza considerando las múltiples experiencias exitosas en la caracterización del germoplasma y su beneficio a los programas de mejoramiento genético en diferentes países productores. En el supuesto y poco probable riesgo que no se identifiquen fuentes genéticas en el país, se podrían usar o identificar fuentes de características de interés en otras colecciones, como las del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) o la Universidad de Trinidad y Tobago o instituciones en Brasil, en donde se adelantan estudios de diversidad

genética o programas de mejoramiento genético dirigidos a la introgresión de varios genes de resistencia a Escoba de Bruja y genes de calidad. A nivel internacional se destacan instituciones que apoyan o podrían apoyar la iniciativa tales como: CEPLAC/CEPEC (Brasil), CIRAD (Francia), MARS (USA), USDA (USA), CATIE (Costa Rica), INIA (Venezuela), Universidad de California (USA), The University of Reading (Reino Unido), University of the West Indies (Trinidad y Tobago), Universidad de São Paulo (Brasil), Centro Internacional de Investigación Forestal (CGIAR), Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ICRAF) y EMBRAPA (Brasil), entre otras.

En Colombia, Corpoica, FEDECACAO, Instituto SINCHI, Universidad Nacional, UIS, Universidad de Antioquía, UDES, Universidad de la Amazonia, Universidad de Nariño, Universidad Francisco de Paula Santander, Universidad de Pamplona, entre otras instituciones, realizan investigación en cacao. Estas entidades tienen la infraestructura y el personal científico para adelantar este tipo de estudios, que en colaboración con otras entidades nacionales e internacionales permitirá avanzar rápidamente en el logro de los objetivos.

5.3.8.4. Sensación de TIREc

PUNTAJE = 3: 31 < TIREc

La Sensación (cuando no se tengan estudios preliminares), de la Tasa Interna de Retorno Económica del proyecto, con base en comparables nacionales o internacionales fue calificada con un PUNTAJE = 3, por las siguientes razones.

De acuerdo con proyecciones realizadas por investigadores de Corpoica C. I. La Suiza y con base en información generada a través de los últimos años en parcelas experimentales establecidas en varias regiones del país, se plantea un patrón de costos validado por el Fondo Nacional del Cacao, para la instalación de un sistema agroforestal (SAF) basado en cacao con sombríos transitorios (plátano) y permanentes (maderables). Bajo este esquema, el costo por hectárea instalada el primer año es de aproximadamente \$ 8 millones de pesos, más el sostenimiento del SAF para un horizonte de 15 años de aproximadamente 3 millones de pesos/año. Con una adecuada asistencia técnica, los rendimientos esperados llegarían a un promedio de 1200 kilogramos de granos secos por hectárea/año. En cuanto a la instalación de sistemas agroforestales con inclusión de copoazú y maraco se ha estimado que el costo de establecimiento por hectárea es similar al del *T. cacao* con \$ 7.4 millones de pesos y costos de mantenimiento de \$ 900.000.

Dados estos supuestos y realizando una sensibilidad de los precios, se deduce que con los precios actuales del mercado interno de \$5.2 millones por tonelada por hectárea, se obtendría una TIR del 35%. Por otra parte, si los precios en el mercado

se redujeran en un 25%, el agricultor llegaría al punto de equilibrio si obtiene 700 kilos/ hectárea. Es decir, aplicando adecuadamente la opción tecnológica recomendada, el agricultor podría incluso enfrentar drásticas caídas en los precios sin verse afectado. Lo anterior sin considerar los impactos en incrementos de productividad que se podrían generar con nuevas tecnologías, v.g. producción al sol con empleo de bioinsumos con genotipos de porte reducido sembrados a más altas densidades.

Se debe considerar que el cacao es un cultivo perenne con un ciclo de vida largo que influye sobre el tiempo requerido para su mejoramiento genético, por lo que en los 5 primeros años, se lograrán desarrollos parciales a partir de la exploración sistemática de la biodiversidad de las plantas y sus microorganismos asociados. Se necesitarían unos 14 años para obtener las primeras variedades compuestas, es decir, clones F2 y (F1XF1) seleccionadas por numerosos atributos. Sin embargo, la bioprospección en asocio con sistemas de producción del cultivo que pueden potenciar la expresión de atributos deseables, será el punto de partida para la generación de nuevos marcadores y la identificación de genes, metabolitos, genotipos y microorganismos sobresalientes para aumentar los rendimientos de producción y darle valor agregado al cultivo y sus productos derivados. Por lo tanto, la inversión debe ser sólida y sostenida en el tiempo, como lo ha sido para otros cultivos perennes como el café de Colombia, que ha posicionado productos con denominación de origen; se espera así que la inversión en bioprospección de cacao tenga réditos sociales, económicos y ambientales muy altos.

5.3.8.5. Fortalecimiento SIN (Sistema de Innovación Nacional)

PUNTAJE = 3: En dirección correcta del fortalecimiento de roles del SIN

El apoyo a la correcta distribución de objetivos misionales en los procesos de formulación para COLCIENCIAS con el fortalecimiento de agencias operadoras capaces de asumir el reto, va en la dirección adecuada, razón por la cual se asignó un puntaje de 3.

Se fortalecen las capacidades nacionales existentes en bioinformática, genómica y otras ómicas (v.g. transcriptómica, nutrigenómica, metabolómica), fitomejoramiento, agronomía, ecofisiología, fitopatología, agroindustria y otras disciplinas. Se fortalece la red de grupos de investigación e innovación en cacao, que en la actualidad coordina Corpoica y cuenta con el aval del Consejo Nacional Cacaotero, para que a través de éste, se canalicen, articulen e integren todos los procesos de investigación de este sistema productivo. La bioprospección y la biotecnología han sido priorizadas por el CONPES de Biotecnología 3697 (2011). La alianza sector productivo-investigativo-académico va en dirección correcta con la política de CTI con posibilidades de replicar el modelo en otros cultivos permanentes (TCC, 2010).

5.3.8.6. Efecto Demostrativo

PUNTAJE = 3. Alto efecto demostrativo

La Sensación del efecto demostrativo para inspirar a entidades nacionales y regionales en el buen uso de la Política de Ciencia, Tecnología e Innovación para “resolver problemas”, permite asignar un puntaje de 3 relacionado con un alto efecto demostrativo, como se indica a continuación.

El proyecto impacta al sector agropecuario primario y como consecuencia al sector agroindustrial, y a futuro generará nuevos productos con valor agregado para la industria chocolatera, con potencialidades de desarrollo para otras industrias (cosmetológica y farmacéutica), igualmente, se convierte en alternativa para afrontar problemas futuros de seguridad alimentaria. De esta manera, se contribuirá al mejoramiento del nivel de calidad de vida de los productores y consumidores, y servirá de modelo para otros cultivos perennes y otros sectores de transformación productiva en las cinco regiones naturales de Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdurakhmonov IY, Abdulkarimov A (2008) Application of association mapping to understanding the genetic diversity of plant germplasm resources. *Int J Plant Genomics* 2008: 574927
- Agricultural Marketing Resources Center (2012) Potatoes. [on line]. [Referent Date: Abril 26 de 2012]. From: http://www.agmrc.org/commodities__products/vegetables/potatoes/
- Agrios GN (1998) Fitopatología, Vol. 620, Tercera Edición edn. México D.F.: Editorial LIMUSA, S.A. de C.V.
- Agronet (2006) Información de monitoreo internacional. Papa amarilla. MADR-CCI. [en línea]. [Fecha de consulta: Mayo 5 de 2012. Disponible en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/20061020121115_PAPAAMARILLAAGOSTO.pdf.
- Agronet. (2012) Exportaciones del sector agropecuario (Uchuva), 1991-2012. Reportes estadísticos. Agronet, Vol. 2012.
- AHDB. Potato Council (2011) Market Information Committee. 2011/12. GB POTATOES: MARKET INTELLIGENCE 2011-12. Information Update November 2011. [on line]. [Referent Date: abril 26 de 2012] From: <http://www.potato.org.uk/sites/default/files/%5Bcurrent-page%3Aarg%3A%3F%5D%20Potatoes%202011-12%20final.pdf>
- Alvarado AG. (2011) Mejoramiento del sistema de producción del cacao en Colombia. Propuesta preeliminar. CORPOICA, p. 26.
- Anderson P (2010) The Contribution of Potatoes to Global food Security. Director General International Potato Center. September 10, Potato Europe.
- Aranzazu H, Martínez G, Palencia C, Coronado S, Rincón G. (2009) Mejoramiento Genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia. In Colombia UTdCd (ed.). CORPOICA – MADR – Federación Nacional de Cacaoteros, Vol. UNO 2009, p. 128.
- Araújo I, de Souza Filho G, Pereira M, Faleiro F, de Queiroz V, Guimarães C, Moreira M, de Barros E, Machado R, Pires J, Schenell R, Lopes U (2009) Mapping of Quantitative Trait Loci for Butter Content and Hardness in Cocoa Beans (*Theobroma cacao* L.). *Plant Molecular Biology Reporter* 27: 177-183
- Argout X, Fouet O, Wincker P, Gramacho K, Legavre T, Sabau X, Risterucci AM, Da Silva C, Cascardo J, Alegre M, Kuhn D, Verica J, Courtois B, Looor G, Babin R, Sounigo O, Ducamp M, Guiltinan MJ, Ruiz M, Alemanno L, Machado R, Phillips W, Schnell R, Gilmour M, Rosenquist E, Butler D, Maximova S, Lanaud C (2008) Towards the understanding of the cocoa transcriptome: Production and analysis of an exhaustive dataset of ESTs of *Theobroma cacao* L. generated from various tissues and under various conditions. *BMC genomics* 9: 512
- Argout X, Salse J, Aury JM, Guiltinan MJ, Droc G, Gouzy J, Alegre M, Chaparro C, Legavre T, Maximova SN (2010) The genome of *Theobroma cacao*. *Nature genetics* 43: 101-108
- Ariza C, García A, Rodríguez D, Jiménez H, Afanador G, Mayorga O, Hernández J, Cerón M, Barrero L, Enciso F, Garzón G, Osorio J, Glahn R, Ariza M (2012) La papa como alimento funcional para pollos de engorde. ISBN 978-958-740-090-8. CORPOICA. Colombia.
- Ávarez N, Zapata J. (2011) Reporte Fondo Cacao BYR. Bolsa y Renta, Bogotá, p. 4. APS. (2011) Common Names of Plant Diseases. American Phytopathological Society

- Aulinger I, Peter S, Schmid J, Stamp P (2003) Rapid attainment of a doubled haploid line from transgenic maize (*Zea mays* L.) plants by means of anther culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 39: 165-170
- Bär N (2011) Una innovadora tecnología para conservar alimentos. En: *La Nación*. 6 de noviembre de 2011. Argentina [en línea]. [Fecha de consulta: abril 4 de 2012]. Disponible en: <http://www.facebook.com/notes/nutrilisto/la-naci%C3%B3n-6112011-una-innovadora-tecnolog%C3%ADa-para-conservar-alimentos-por-nora-b%C3%A4/116847298462539>.
- Barrera S, Coronado R, Martínez N, Palencia G, Aranzazu F, Núñez V (2008) Identificación molecular de árboles élite de cacao (*Theobroma cacao* L) para contribuir con la caracterización de colecciones de trabajo utilizadas para generar poblaciones comerciales en Colombia. In *Seminario Internacional de cacao, Bucaramanga*, p 9.
- Beckman CH (1987) *The nature of wilt diseases of plants*: APS Press.
- Becerra E (2011) Experiencia de Procesamiento y Exportación de Papa Criolla. En *Avances de Investigación en el Cultivo de la Papa. MADR-Cadena Agroindustrial de la Papa Antioquia y otros*. Octubre 10 y 11 de 2011. Pág. 55-59.
- Belicuas PR, Guimaraes CT, Paiva LV, Duarte JM, Maluf WR, Paiva E (2007) Androgenetic haploids and SSR markers as tools for the development of tropical maize hybrids. *Euphytica* 156: 95-102
- Bonierbale M, Grüneberg W, Amoros W, Burgos G, Salas E, Porras E, Felde T (2008) Total and individual carotenoid profiles in the Phureja group of cultivated potatoes: II. Development and application of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) calibrations for germoplasm characterization. In: *Journal of Food Composition and Analysis* 22:509-516. doi:10.1016/j.jfca.2008.08.009.
- Bonilla MH, Cardozo F, Morales A (2009) La agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena de la papa en Colombia con énfasis en papa criolla. [en línea]. [Fecha de consulta: abril 5 de 2012]. Disponible en: http://www.minagricultura.gov.co/archivos/agenda_papa_criolla.pdf.
- Bonilla M, Espinosa Piedrahíta K, Posso Terranova A, Vásquez Amariles H, Muñoz Flórez J (2008a) Caracterización molecular de 43 accesiones de uchuva de seis departamentos de Colombia. *Acta Agronómica* 57: 109-116
- Bonilla M, Espinosa Piedrahíta K, Posso Terranova A, Vásquez Amariles H, Muñoz Flórez J (2008b) Caracterización morfológica de 24 accesiones de uchuva del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. *Acta Agronómica* 57: 101-108
- Bonilla MH, Arias PN, Landínez LM, Moreno JM, Cardozo F., Suárez MS. (2009) Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la uchuva en fresco para exportación en Colombia. *MADR*, p. 152.
- Bravo J. (2011) *Boletín Frutícola*, avance enero a abril 2011. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa), p. 17.
- Brown JS, Phillips-Mora W, Power EJ, Krol C, Cervantes-Martinez C, Motamayor JC, Schnell RJ (2007) Mapping QTLs for Resistance to Frosty Pod and Black Pod Diseases and Horticultural Traits in *Theobroma cacao*. *Crop Science* 47: 1551-1558
- BussinesStat (2012). *The 2006-2015 Outlook for the Global Potato Market*. [on line]. [Referent Date: Abril 26 de 2012]. From: http://businessstat.com/world/surveys/food_and_beverages/fruit_and_vegetables/potato/

- Carreño N, Vargas A, Bernal AJ, Restrepo S (2007) Biotic constraints of the Solanaceae caused by *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* in Colombia. A review. *Revista Agronomía Colombiana* 25
- Carrillo MP, Barrera JA, Hernández MS, Melgarejo LM, Barón M, Villada WA, Pérez JE, Cruz F, Barrera A, Rodríguez O (2006) Otras Aplicaciones. In *Theobroma: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género Theobroma en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica*, Melgarejo LM, Hernández MS, Barrera JA, Carrillo M (eds), 1ra edición edn, pp 185-223. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI, Universidad Nacional de Colombia-dpto. Biología.
- Castellanos O, Torres L, Fonseca S, Montañez V, Sanchez A. (2007) Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de cacao-chocolate en Colombia. Grupo de investigación y desarrollo en gestión, productividad y competitividad – BioGestión. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, p. 145.
- Castillo Z (1988) Mejoramiento Genético del Café en Colombia. Conferencias conmemorativas CENICAFÉ 50 años. CENICAFÉ (Chinchiná). pp 46-56.
- Corporación Colombia Internacional. CCI. (1994) Análisis internacional del sector hortifrutícola para Colombia. In Diseño E (ed.). Corporación Colombia Internacional, Universidad de los Andes, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, p. 165.
- Corporación Colombia Internacional. CCI. (2002) Inteligencia de Mercados. Boletín noticioso No. 43. Corporación Colombia Internacional, p. 4.
- Corporación Colombia Internacional. CCI. (2006) Sistema de Inteligencia de mercados. Perfil de producto No. 34. Corporación Colombia Internacional, p. 14.
- Corporación Colombia Internacional. CCI. (2008) Sistema de Inteligencia de Mercados. Perfil de producto No. 41, p. 15.
- Clough Y, Faust H, Tschardt T (2009) Cacao boom and bust: sustainability of agroforests and opportunities for biodiversity conservation. *Conservation Letters* 2: 197-205
- CONPES(3697). (2011) Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. Consejo Nacional de Política Económica y Social, Bogotá D.C, p. 36.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación (2011) Política para el desarrollo comercial de la biotecnología a partir del uso sostenible de la biodiversidad. República de Colombia Conpes de Biotecnología 3697.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) (2011). Base de datos geográfica. Mosquera, Colombia
- Cotes AM, Cárdenas A, Pinzón H (2001) Effect of seed priming in the presence of *Trichoderma koningii* on seed and seedling disease induced in tomato by *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. In *Biocontrol agents modes of action and their integration with other means of control*, Monte E, Freeman S, Elad Y (eds), Vol. 24, pp 259-263. Sevilla: IOBC/WPRS
- Cook N, Samman S (1996) Flavonoids-chemistry, metabolism, cardioprotective effects, and dietary sources. *The Journal of nutritional biochemistry* 7: 66-76
- Compant S, Duffy B, Nowak J, Clément C, Barka EA (2005) Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 4951

- Cuatrecasas J (1964) Cacao and its allies. A taxonomic revision of the genus *Theobroma*. Contrib US Nat Herb 35: 379-605
- Chen Z, Snyder S, Fan Z, Loh W (1994) Efficient production of doubled haploid plants through chromosome doubling of isolated microspores in *Brassica napus*. Plant Breeding 113: 217-221
- Choudhary MI, Yousaf S, Ahmed S, Yasmeen K (2005) Antileishmanial physalins from *Physalis minima*. Chemistry & biodiversity 2: 1164-1173
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2010) Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Dirección Nacional de Planeación, Bogotá.
- Dhiman TR, Anand GR, Satter LD, Parizza MW (1999) Conjugated Linoleic Acid Content of milk from cows fed different diets. In: J.Dairy Sci. 82:2146-2156.
- Díaz A, Smith A, Mesa P, Zapata J, Caviedes D, Cotes AM (2012) Control of *Fusarium* wilt in cape gooseberry by *Trichoderma koningiopsis* and PGPR. IOBC wprs Bulletin. En prensa
- DNP. (2010) Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Departamento Nacional de Planeación, Bogotá, Vol. 2, p. 481.
- Edwards D, Batley J (2010) Plant genome sequencing: applications for crop improvement. Plant Biotechnol J 8: 2-9
- Estrada Ramos N (2000) La Biodiversidad en el Mejoramiento Genético de la Papa. Edición Hill Ardí y Emma Martínez. CIP, IPGRI, PRACIPA, IBTA, PROINPA, COSUDE, CID. 372 p.
- Fang ST, Li B, Liu JK (2009) Two new withanolides from *Physalis peruviana*. Helvetica Chimica Acta 92: 1304-1308
- FAO. (2004) Características generales de las cadenas de estudio. Organización para la Alimentación y la Agricultura
- FAO (2008 a). El Mundo de la papa. Tesoro Enterrado. [en línea]. [Fecha de consulta: septiembre 1 de 2011]. Disponible en: <http://www.potato2008.org/es/mundo/europa.html>
- FAO (2008b). La crisis económica amenaza el auge de la papa. [en línea]. [Fecha de consulta: abril 4 de 2012]. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/8901/icode/>
- FAO (2008c) Potato and water resources. [on line]. [Referent date: septiembre 1 de 2011]. From: <http://www.potato2008.org/en/potato/water.html>
- FAO (2008d) Potatoes, nutrition and diet. . [on line]. [Referent date: mayo 4 de 12]. From: <http://www.potato2008.org/en/potato/IYP-6en.pdf>
- FAO (2008e) Uses of potato. [on line]. [Referent Date: septiembre 1 de 2011]. From: <http://www.potato2008.org/en/potato/utilization.html>
- FAO-CIP (2009) 2008 Año Internacional de la Papa. Nueva Luz sobre un Tesoro Enterrado. Consulta abril 3 de 2012. Disponible en <http://www.potato2008.org/es/mundo/index.html>.
- FAO (2010a). Perspectivas a plazo medio de los productos básicos agrícolas, Proyecciones año 2010. Departamento económico y social. 85p. [en línea]. [Fecha de consulta: Agosto de 21 de 2012]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/y5143s/y5143s0w.htm#TopOfPage>.
- FAO (2010b) *Perspectivas Alimentarias "Análisis de los mercados mundiales"* Noviembre 2010 [en línea]. [Fecha de consulta: Agosto de 21 de 2012]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/al969s/al969s00.pdf> pág. 55-58.

- Fedecacao. (2011a) Produccion de cacao en grano. Estadisticas internacionales. Federacion Nacional de Cacaoteros, Vol. 2011.
- Fedecacao. (2011b) El cacao colombiano se consolida como uno de los más finos del mundo. Revista Alimentos, p. 9.
- Fedegan (2011). "Boletín Mercados Internacionales No.141." [en línea]. [Fecha de consulta: Agosto de 21 de 2012]. Disponible en: <http://portal.fedegan.org.co/>.
- Fischer G (2000) Crecimiento y desarrollo. . In Producción, poscosecha y exportación de la uchuva (*Physalis peruviana* L.), Flórez VJ, Fischer G, Sora AD (eds), p 175. Bogotá: Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia
- Fischer G, Herrera A, Almanza P, Yahia E (2011) Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits Volume 2: açai to citrus: 374-396
- Fisher G, Miranda D, Piedrahita W, Romero J (2005) Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva *Physalis peruviana* L. Colombia Bogotá: Universidad Nacional de Colombia 221pp
- Forero de La-Rotta MC, Quevedo K (2005) Marchitamiento vascular en Uchuva *Physalis floridana* L. ocasionada por *Fusarium oxysporum*. In XXVI Congreso de Ascolfi, p 70. Bogotá
- Franzen M, Borgerhoff Mulder M (2007) Ecological, economic and social perspectives on cocoa production worldwide. Biodiversity and Conservation 16: 3835-3849
- Garibaldi A (1987) Research on substrates suppressive to *Fusarium oxysporum* and *Rhizoctonia solani* (*). Acta Hort. 221: 271-278
- Garibaldi A, Gilardi G, Gullino ML (2004) Varietal resistance of lettuce to *Fusarium oxysporum* f. sp. lactucae. Crop Protection 23: 845-851
- García A (2012) Evaluación in vitro / in vivo de propiedades antioxidantes de clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*). Tesis de Maestría. Departamento de Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.
- Garzon-Martinez GA, Zhu I, Landsman D, Barrero LS, Marino-Ramirez L (2012) The *Physalis peruviana* leaf transcriptome: assembly, annotation and gene model prediction. BMC Genomics 13: 151
- Germanà MA (2011) Anther culture for haploid and doubled haploid production. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 104: 283-300
- GmbH. (2011) Fruit Logistica- The World of Fresh Produce. In Berlin M (ed.). Fruit Logistica, Berlin.
- González C, Barrero LS (eds) (2011) Estudio de la marchitez vascular de la uchuva para el mejoramiento genético del cultivo. Bogotá: CORPOICA, Cámara de Comercio de Bogotá, Novacampo, MADR, 44pp
- Gordillo OP, Fischer G, Guerrero R (2004) Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Silvania (Cundinamarca). Agronomía Colombiana: 53-62
- Gordon TR, Martyn RD (1997) The evolutionary biology of *Fusarium oxysporum*. Annu Rev Phytopathol 35: 111-128

- Gregory P (2011) The challenge of increasing potato production for a world of 9 billion people [en línea]. [Fecha de consulta: abril 5 de 2012]. Disponible en: http://sscr.scri.ac.uk/files/image/files/potatoes/gregory_foodsecurity_100211.pdf
- Gultinan MJ, Verica J, Zhang D, Figueira A (2008) Genomics of *Theobroma cacao*, "The Food of the Gods". In Genomics of tropical crop plants, Moore P, Ming R (eds), pp 145-170. Springer
- Huang B, Xu Y, Wu Y, Zhang S, Chen X (2008) Effect of root exudates of different resistant varieties of cucumber on *Fusarium* wilt and preliminary studies on their resistance mechanism. *Frontiers of Agriculture in China* 2: 61-65
- Huerta SA (1954) La influencia de la intensidad de la luz en la eficiencia asimilatoria y crecimiento del cafeto. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Tesis de grado, p. 69.
- Hydroxywithanolide E from *Physalis peruviana* (golden berry) inhibits growth of human lung cancer cells through DNA damage, apoptosis and G2/M arrest. *BMC Cancer* 10: 46
- IICA (2003) Papa Prefrita Congelada en Argentina. Mónica Mateos. <http://economicas2.unlam.edu.ar/unlam100/biblioteca/cepal/LIN45.pdf>
- ICCO. (2011) Cocoa production. Cocoa economy. International Cocoa Organization, Vol. 2011.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2008). Atlas Básico de Colombia. 7ed. Bogotá Imprenta Nacional de Colombia.
- Jackson SA, Iwata A, Lee SH, Schmutz J, Shoemaker R (2011) Sequencing crop genomes: approaches and applications. *New Phytol* 191: 915-925
- Jaimes Y (2007) Evaluación de *Trichoderma koningii* Th003 como inductor de resistencia sistémica en tomate contra *Fusarium oxysporum*. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá
- Jaimes Y, Aranzazu H. (2010) Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L) en Colombia, con énfasis en Monilia (*Moniliophthora roreri*). CORPOICA, p. 90.
- Kloepper JW, Ryu CM, Zhang S (2004) Induced Systemic Resistance and Promotion of Plant Growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94: 1259-1266
- Lagos TC, Vallejo Cabrera FA, Criollo Escobar H, Muñoz Flórez JE (2008) Biología reproductiva de la uchuva. *Acta Agronómica* 57: 81-87
- Lan YH, Chang FR, Pan MJ, Wu CC, Wu SJ, Chen SL, Wang SS, Wu MJ, Wu YC (2009) New cytotoxic withanolides from *Physalis peruviana*. *Food Chemistry* 116: 462-469
- León JM, Pabón ML, Carulla JE (2011) Pasture traits and conjugated linoleic acid (CLA) content in milk. Relación entre las características de la pastura y el contenido de ácido linoleico conjugado (ALC) en la leche. En: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 24 (1).
- Ligarreto GA, Lobo M, Correa A (2005) Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. In *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.) en Colombia*, Fischer G, Miranda D, Piedrahita W, J R (eds), pp 9-27. Bogotá: Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia
- Linderman R (2005). Biocontrol in the mycorrhizosphere. Implementation of Biocontrol in Practice in Temperate Regions - Present and Near Future; Research Centre Flakkebjerg

- Lobo M (2000) Papel de la variabilidad genética en el desarrollo de los frutales andinos como alternativa productiva. In III Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado, pp 27-26. Manizales
- Lobo M (2007) Recursos genéticos y mejoramiento de frutales andinos. Una visión conceptual. CORPOICA, Ciencia y Tecnología Agropecuaria 7: 43-54
- Madriñán Palomino CE, Muñoz Flórez JE, Vásquez Amariles HD, Barrera Marín N (2011) Caracterización morfológica de 29 introducciones de *Physalis peruviana* L. de la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Acta Agronómica 60: 68-75
- Mahecha LL, Angulo JA, Olivera MA (2009) Síntesis, composición y modificación de la grasa de la leche bovina: Un nutriente valioso para la salud humana. En: Rev. MV Z Córdoba 14 (3): 1856-1866.
- Majewska-Wierzbička M, Czczot H (2012) [Flavonoids in the prevention and treatment of cardiovascular diseases]. Pol Merkur Lekarski 32: 50-54
- Maluszynski M (2003) Doubled haploid production in crop plants: a manual: Springer.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MCIT) (2010) ABC del Acuerdo Comercial con la Unión Europea. Informe de gestión. [en línea]. [Fecha de consulta: septiembre 28 de 2012]. Disponible en: <https://www.mincomercio.gov.co/publicaciones.php?id=3406>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. (2009) Agenda de investigación de cadenas productivas. Dirección de Desarrollo Tecnológico y Protección Sanitaria, p. 6.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR. (2011) MINAGRICULTURA y FEDECACAO firman acuerdo de cooperación para fortalecer la competitividad de los cacaoeros. Red de Comunicaciones MADR. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Bogotá, Vol. 037, p. 2.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR (2012) Proyecto: Apoyo Alianzas Productivas. Presentación en Power Point. Bogotá, enero 26 de 2012. [en línea]. [Fecha de consulta: 04/05/12] Disponible en: <http://www.slideshare.net/Redprodepaz/presentacion-alianzas-productivas>
- Moreno Y, Melgarejo LM, Hernández S, Quintero L, Vargas G (2006) Caracterización molecular de accesiones del banco de germoplasma del género *Theobroma* de la región amazónica colombiana. In *Theobroma: Oferta y potencialidades de un banco de germoplasma del género Theobroma en el enriquecimiento de los sistemas productivos de la región amazónica*, Melgarejo LM, Hernández MS, Barrera JA, Carrillo M (eds), 1era Edición edn, pp 11-64. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI, Universidad Nacional de Colombia-dpto. Biología.
- Morillo AT, Villota Cerón DE, Lagos Burbano TC, Ordóñez HR (2011) Caracterización Morfológica y Molecular de 18 Introducciones de Uchuva *Physalis peruviana* L. de la Colección de la Universidad de Nariño. Facultad Nacional de Agronomía - Medellín 64: 43-53
- Morrell PL, Buckler ES, Ross-Ibarra J (2011) Crop genomics: advances and applications. Nat Rev Genet 13: 85-96
- Motilal L, Zhang D, Umaharan P, Mischke S, Boccara M, Pinney S (2009) Increasing Accuracy and Throughput in Large-Scale Microsatellite Fingerprinting of Cacao Field Germplasm Collections. Tropical Plant Biology 2: 23-37

- Muñoz Flórez JE, Libreros Veles R, Fierro Ortega EA, Vasquez Amariles HD, Rodriguez Henao E (2010). Evaluación de materiales de uchuva *Physalis peruviana* L. en dos ambientes en el departamento del Valle del Cauca. 3a jornada del día de la ciencia y la tecnología; Palmira. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Muñoz Flórez JE, Morillo Coronado AC, Morillo Coronado Y (2008) Random amplified microsatellites (RAMs) in plant genetic diversity studies. *Acta Agron* 57: 219-226
- Murphy R. (2007) *Global Research on Cocoa- working with and for farmers*. Gro-Cocoa. CABI, USDA., p. 8.
- Nair P, Nair VD, Kumar BM, Haile SG (2009) Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: a feasibility appraisal. *Environmental Science & Policy* 12: 1099-1111
- Noe V, Penuelas S, Lamuela-Raventos RM, Permanyer J, Ciudad CJ, Izquierdo-Pulido M (2004) Epicatechin and a cocoa polyphenolic extract modulate gene expression in human Caco-2 cells. *The Journal of nutrition* 134: 2509-2516
- Olsen, N., Nolthe, P, Harding, G., Ohlensehlen, B. 2001. *Cull and Waste Potato Management*. Idaho University. [on line]. [Referent Date: abril 10 de 2012] From: <http://www.kimberly.uidaho.edu/potatoes/CIS0814.pdf>.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2012) Estadísticas sanitarias mundiales 2012. Pp. 180.
- Othman A, Jalil AMM, Weng KK, Ismail A, Ghani NA, Adenan I (2010) Epicatechin content and antioxidant capacity of cocoa beans from four different countries. *African Journal of Biotechnology* 9: 1052-1059
- Pandey PS, Naik PS., Sud KC, Chakrabarti SK. *Visión 2025*. Central Potato Research Institute [on line]. [Referent Date: abril 26 de 2012] From: <http://es.scribd.com/Doc/58441248/5/potato-production-and-utilization-global-scenario>.
- Patna Daily (2012) World Record in Potato Production for Bihar Farmer. En: Patna Daily. 14 de Marzo de 2012. [on line]. [Referent Date: abril 26 de 2012] From: <http://www.patnadaily.com/index.php/news/7060-world-record-in-potato-production-for-bihar-farmer.html>.
- Peloquin SJ, Jansky SH, Yerk GL (1989). Potato cytogenetics and germoplasm utilization. *Am. Potato J.* 66: 629-638.
- Pera J, Calvet C (1989) Suppression of *Fusarium* wilt of carnation in a composted pine bark and a composted olive pumice. *Plant disease* 73: 699-700
- Pickering R, Devaux P, Shewry P (1992) Haploid production: approaches and use in plant breeding. *Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology*: 519-547
- Potato South Africa Research Project, (2009) . [on line]. [Referent Date: Abril 26 de 2012] From: <http://www.potatoes.co.za/SiteResources/documents/Potatoes%20South%20Africa%20Research%20Project.pdf>
- Pratt RC, Francis DM, Barrero LS (2008) Genomics of tropical solanaceous species: Established and emerging crops. *Genomics of tropical crop plants*: 453-467
- PROEXPORT. (2010) Sector Agroindustrial Colombiano. In Veléz A, Campos A, Cordoba S (eds.). *Proexport Colombia, Bogotá*, Vol. 1, p. 17.
- PROEXPORT. (2011) Informe frutas exóticas, mermeladas y frutas deshidratadas. PROEXPORT Colombia, p. 12.

- PROEXPORT (2011) Sector Lácteo en Colombia. 18p. [en línea]. [Fecha de consulta: septiembre 28 de 2012]. Disponible en: <http://www.proexport.com.co/resultados?proexport=sector%20lacteo>
- PROEXPORT (2012) . [en línea]. [Fecha de consulta: agosto 28 de 2012]. Disponible en: <http://www.proexport.com.co/>
- Puente LA, Pinto-Muñoz CA, Castro ES, Cortés M (2011) *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International* 44: 1733-1740
- Quintero LE, Salazar M, Acevedo X. (2004) Costos de producción de la uchuva y el tomate de árbol en Colombia. MADR, Bogotá, p. 9.
- Ramadan MF (2011) Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International*
- Ramadan MF, Moersel JT (2009) Oil extractability from enzymatically treated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pomace: range of operational variables. *International Journal of Food Science & Technology* 44: 435-444
- Rea J, Bacher JJ (1992) La papa Amarga. Mesa Redonda: Perú-Bolivia. La Paz. 7 y 8 de mayo de 1991. Edición ORSTON. [en línea]. [Fecha de consulta: abril 26 de 2012] Disponible en: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_03_01/36372.pdf
- RED RAET DE UNIVERSIDADES (2012) Los Modelos de Organización Empresarial en Agroindustria como determinantes de la Innovación Sectorial: Un Estudio Comparado por departamentos. PDF. En prensa, suministrado por los autores. 52p.
- Reyes LF, Miller JC Jr, Cisneros-Zevallos L (2005). Antioxidant Capacity Anthocyanins and Total Phenolics in Purple and Red Fleshed Potato (*Solanum Tuberosum*) Genotypes. En: *American Journal of Potato Research* 82: 271-277.
- Rico J E, Moreno B M, Pabón ML, Carulla J E (2007) Composición de la grasa láctea en la Sabana de Bogotá con énfasis en ácido ruménico- CLA cis-9, trans-11. En: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20: 30-39 [en línea]. [Fecha de consulta: Septiembre 28 de 2012]. Disponible en: www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n1/v20n1a04.pdf
- RPP Noticias (2011) EEUU y Europa principales mercados destino de papa amarilla y nativa En: *Noticias RPP. Economía* (11 de mayo de 2011) [en línea]. [Fecha de consulta: abril 26 de 2012] Disponible en: http://www.rpp.com.pe/2011-05-27-eeuu-y-europa-principales-mercados-destino-de-papa-amarilla-y-nativa-noticia_369711.html
- Rudgard SA, Maddison AC, Andebrhan T (1993) Disease management in cocoa: comparative epidemiology of witches' broom: Springer.
- Ruiz M, Montoya P, Ureña M. (2009) Situación actual y perspectivas del mercado de cacao en grano colombiano. In Service ER (ed.), ERS–USAID/MIDAS Crops. USAID, pp. 79-97.
- Saravia G (sf) Biodiversidad en papas amargas. [en línea]. [Fecha de consulta: septiembre 1 de 2011]. Disponible en: [http://www.condesan.org/e-foros/insitu99/Saravia%20\(spanish\).html](http://www.condesan.org/e-foros/insitu99/Saravia%20(spanish).html).
- Rodríguez EA, Pulido VC, Barrero LS, González C. (2012) *Fusarium oxysporum*: Causal agent of vascular wilt in cape gooseberry (*Physalis peruviana*). Sometido.
- Shapiro H, Rosenquist E (2004) Public/private partnerships in agroforestry: the example of working together to improve cocoa sustainability. *Agroforestry Systems* 61: 453-462

- Sheu ZM, Wang TC (2006) First Report of Race 2 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, the Causal Agent of Fusarium Wilt on Tomato in Taiwan. *Plant Disease* 90: 111-111
- Simbaqueba J, Sanchez P, Sanchez E, Nunez Zarrantes VM, Chacon MI, Barrero LS, Marino-Ramirez L (2011) Development and characterization of microsatellite markers for the Cape gooseberry *Physalis peruviana*. *PLoS One* 6: e26719
- Suescún L, Sánchez E, Gómez M, García F, Núñez V (eds) (2011) Producción de Plantas Genéticamente Puras de Uchuva. Bogotá: CORPOICA, Cámara de Comercio de Bogotá, Novacampo, C.I. Muisca, MADR, 45pp
- Szczech M, Rondonanski W, Brzeski M, Smolinska U, Kotowski J (1993) Suppressive effect of a commercial earthworm compost on some root infecting pathogens of cabbage and tomato. *Biological Agriculture Horticulture* 10: 47-52
- TCC. (2010) TCC cocoa barometer 2010. Tropical Commodity Coalition for sustainable tea coffee cocoa, p. 24.
- Tami LM (2011) Colombia: Competitividad de la Cadena de Cacao-Chocolate. In III Reunión del Grupo de Expertos de ALC, p 22. Costa Rica
- Tapia B (2011) Los vaivenes del mercado de la papa: aumento de la producción y precios bajos. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) . Chile. 7 p. [en línea]. [Fecha de consulta: abril 26 de 2012] Disponible en: <http://www.odepa.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2462.pdf>.
- Tafur R (2006) Propuesta frutícola para Colombia y su impacto en la actividad económica nacional, regional y departamental. En Primer Congreso Colombiano de Horticultura, pp 47-66. Bogotá
- Triana B (1957) Informe preliminar sobre un estudio de modalidades del cultivo del Cafeto. Boletín informativo CENICAFÉ 8: 156-168
- Trillos González O, Cotes Torres JM, Medina Cano CI, Lobo Arias M, Navas Arboleda AA (2008) Morphologic characterization of forty six accessions of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.), in Antioquia (Colombia). *Revista Brasileira de Fruticultura* 30: 708-715
- UNCTAD. (2011) Cocoa production. Market Information in the Commodities Area. United Nations Conference on Trade and Development, Vol. 2011.
- Universidad Nacional de Colombia UNAL. (2007) Alianza productiva para la producción y comercialización de uchuva para el municipio de Ventaquemada. Observatorio de Misión Rural. Universidad Nacional de Colombia, p. 158.
- United States department of Agricultura (USDA)(2011) Frozen Potato Products: World Markets and Trade. . [on line]. [Referent Date: abril 5 de 2012] From: http://www.fas.usda.gov/hfp/2011_Potato.pdf.
- Uribe A, Mendes H, Mantilla J (1998) Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelos del Departamento de Santander. CORPOICA. p. 4.
- Urrea R, Cabezas L, Sierra R, Cardenas M, Restrepo S, Jimenez P (2011) Selection of antagonistic bacteria isolated from the *Physalis peruviana* rhizosphere against *Fusarium oxysporum*. *J Appl Microbiol* 111: 707-716
- Valenzuela A, Sanhueza J, Nieto S (2003) Natural antioxidants in functional foods: from food safety to health benefits. *Grasas y aceites* 54: 295-303

- Varshney RK, Nayak SN, May GD, Jackson SA (2009) Next-generation sequencing technologies and their implications for crop genetics and breeding. *Trends Biotechnol* 27: 522-530
- Villamizar F, Ramírez A, Meneses M (1993) Estudio de la caracterización física, morfológica y fisiológica poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agro-Desarrollo* 4: 305-319
- Walker, T., Thiele, G., Suarez, V. Crissman, Ch. Hindsight and foresight about potato production and consumption. . [on line]. [Referent Date: Abril 3 de 2012. From: <http://es.scribd.com/doc/72423384/Hindsight-and-foresight-about-potato-production-and-consumption>
- Wang JF, Schramm DD, Holt RR, Ensunsa JL, Fraga CG, Schmitz HH, Keen CL (2000) A dose-response effect from chocolate consumption on plasma epicatechin and oxidative damage. *The Journal of nutrition* 130: 2115S-2119S
- Xu H, Shete S (2005) Effects of population structure on genetic association studies. *BMC Genet* 6 Suppl 1: S109
- Yen CY, Chiu CC, Chang FR, Chen JY, Hwang CC, Hseu YC, Yang HL, Lee AY, Tsai MT, Guo ZL, Cheng YS, Liu YC, Lan YH, Chang YC, Ko YC, Chang HW, Wu YC (2010) 4beta-
- Zhang D, Boccara M, Motilal L, Mischke S, Johnson E, Butler D, Bailey B, Meinhardt L (2009) Molecular characterization of an earliest cacao (*Theobroma cacao* L.) collection from Upper Amazon using microsatellite DNA markers. *Tree Genetics & Genomes* 5: 595-607

Anexo 1.

Autores y su filiación

1. Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Carrera 45 N°26-85. Bogotá (Colombia)

Camilo López - celopezc@unal.edu.co

Gerhard Fisher - gerfischer@gmail.com

Juan Carulla - jecarulla@unal.edu.co

Luz Marina Melgarejo - Immelgarejom@unal.edu.co

Manuel Fernando Ariza - mfariza@unal.edu.co

Esperanza Torres - etorresr@unal.edu.co

2. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Centro de Biotecnología y Bioindustria-CBB.

Kilometro 14 vía Bogotá-Mosquera, Cundinamarca (Colombia)

Alba Marina Cotes - amcotes@corpoica.org.co

Andrés Rodríguez - andresrp@hotmail.com

Carolina Cruz Martínez - cruzm.carolina@gmail.com

Carolina González - cgonzaleza@corpoica.org.co

Claudia Ariza - cariza@corpoica.org.co

Erika Andrea Alarcón - ealarcon@corpoica.org.co

Felipe Borrero - fborrero@corpoica.org.co

Fernando Rodríguez - frodriguez@corpoica.org.co

Héctor Arévalo - harevalo@corpoica.org.co

Hugo Jiménez - hjimenez@corpoica.org.co

Jaime Cardozo - jcardozo@corpoica.org.co

Jaime Simbaqueba - jsimbaqueba@gmail.com

Jhon Jairo Gallo - jonh742003@yahoo.es

Laura Fernanda Villamizar - lvillamizar@corpoica.org.co

Lorena Mestra - lmestra@corpoica.org.co

Luisa Fernanda Izquierdo - lfizquierdo@corpoica.org.co

Luz Stella Barrero - lbarrero@corpoica.org.co

María Victoria Zuluaga - mзуluga@corpoica.org.co

Marjorie Santamaria - santamaria.marjorie@gmail.com

Martha Isabel Gómez - mgomez@corpoica.org.co

Olga Lucia Mayorga - omayorga@corpoica.org.co

Reinel Florez - rflorez@corpoica.org.co

Rodrigo Martínez - ramartinez@corpoica.org.co

Sonia Jaramillo - sjamaral@gmail.com

Victor Nuñez - vnunez@corpoica.org.co

Xavier Fargetton - xfargetton@corpoica.org.co

3. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Centro de Investigación Nataima.

Kilometro 9 vía Espinal - Chicoral, Tolima (Colombia)

Angélica Sandoval - angelsanal@hotmail.com

Catarina Passaro - cpassaro@corpoica.org.co

Leonora Rodríguez - lrodriguezp@corpoica.org.co

Lorenzo Peláez - lpelaez@corpoica.org.co

4. **Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Centro de Investigación La Selva.**
Kilometro 7 vía Rionegro – Las Palmas, Sector Llanogrande, Rionegro, Antioquia (Colombia)
 Alejandro Navas - anavas@corpoica.org.co
 Mario Lobo - mlobo@corpoica.org.co
5. **Universidad de los Andes - Sede Bogotá.**
Carrera 1 N° 18A - 12 Bogotá (Colombia)
 Adriana Bernal - abernal@uniandes.edu.co
 Silvia Restrepo - srestrepo@uniandes.edu.co
6. **Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE.**
Kilometro 4 vía Chinchiná-Manizales, Caldas (Colombia).
 Alvaro Gaitán - alvaro.gaitan@cafedecolombia.com
7. **Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.**
Carrera 32 N° 12 -00 Chapinero, Vía Candelaria. Palmira- Valle del Cauca (Colombia)
 Jaime Eduardo Muñoz - jemuñozf@unal.edu.co
8. **CorpoGen.**
Carrera 5 N°66-88. Bogotá (Colombia)
 Juan Manuel Anzola - juan.anzola@corpogen.org.co
 Patricia del Portillo - pdelportillo@corpogen.org.co
9. **Texas A&M University, USA.**
 Clare Gill - clare-gill@tamu.edu
10. **CICESE - Departamento de Biotecnología.**
Carretera Ensenada-Tijuana N° 3918, Zona Playitas (México)
 Gerardo Toledo - gvtoledog@gmail.com
11. **Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Centro de Investigación La Libertad.**
Kilometro 17 vía Villavicencio - Puerto López, Meta (Colombia)
 Hernando Flórez - hflorez@corpoica.org.co
12. **Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.**
Calle59A N°63-20 Medellín (Colombia)
 Rolando Barahona - rolandobarahona2002@yahoo.com
13. **Research Council, Noruega**
 Steinar Bergseth - stb@forskningsradet.no
14. **Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Centro de Investigación Tibaibatá.**
Kilometro 14 vía Bogotá-Mosquera, Cundinamarca (Colombia)
 Ivan Valbuena - ivalbuena@corpoica.org.co
 Gabriel Alvarado - galvarado@corpoica.org.co
 María del Socorro Cerón - mceron@corpoica.org.co
 Maria Luisa Rodríguez - mlrodriguez@corpoica.org.co

Nancy Barreto - nbarreto@corpoica.org.co
Olga Pérez - operez@corpoica.org.co

15. Pontificia Universidad Javeriana.

Carrera 7 N°40-62. Bogotá (Colombia)
Maria Ximena Rodríguez - mxrodriguez@javeriana.edu.co
Wilson Teran - wteran@javeriana.edu.co

16. United States Department of Agriculture

Wisniewski, Michael - michael.wisniewski@ars.usda.gov

17. Universidad Militar Nueva Granada.

Calle 11 N°101-80. Bogotá (Colombia)
Pedro Jiménez - pedro.jimenez@unimilitar.edu.co

18. Universidad de Medellín.

Carrera 87 N° 30-65. Medellín (Colombia)
Eduardo Noreña - henorena@udem.edu.co

19. La Recherche Agronomique pour le Developpement – CIRAD - Francia

Bertus, Eskes - b.eskes@cgiar.org

20. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Centro de Investigación La Suiza.

Avenida Quebrada Seca No. 31-39 Bucaramanga, Santander (Colombia)
Clara León - cleon@corpoica.org.co
Gildardo Palencia Roberto Coronado - gpalencia@corpoica.org.co
Yeirme Jaimés - yjaimés@corpoica.org.co

21. Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT.

Kilometro 17 vía Cali-Palmira (Colombia)
Daniel Debouck - d.debouck@cgiar.org

22. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI.

Calle 20 N° 5-44 Bogotá (Colombia)
Jaime Alberto Barrera - jbarrera@sinchi.org.co
Maria Soledad Hernández - shernandez@sinchi.org.co

23. Wilson Associated International LLC Shepherdstown WV Estados Unidos

Charles Wilson - charliewilson@citlink.net

24. Boyce Thompson Intitute For Plant Research

James Giovannoni - jjg33@cornell.edu

25. Biointropic

Calle 25 sur # 42-73, Bogotá (Colombia)
Claudia Betancur - director@biointropic.com

26. INBIO Costa Rica

Kattia Rosales - krosales@inbio.ac.cr

27. Universidad de Nariño

San Juan de Pasto - calle 18 carrera 50, Nariño (Colombia)

Tulio César Lagos - tclagos@udenar.edu.co

Producción editorial:
Diagramación, impresión y encuadernación



www.produmédios.org
Tel: 893 7710

Tiraje: 100 ejemplares
Terminó de imprimirse
en Noviembre de 2012 en
Bogotá, DC, Colombia



MinAgricultura
Ministerio de Agricultura
y Desarrollo Rural



**PROSPERIDAD
PARA TODOS**



BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Correo: bac@corpoica.org.co
Teléfono: (57 1) 4 227300 ext. 1257 o 1274
Skype: biblioteca.agropecuaria

www.corpoica.org.co

ISBN: 978-958-740-130-1



9 789587 401301