

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 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 nutraceutica, 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 promisoría 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 nutraceutico, 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 nutraceutico 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 (Diaz *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

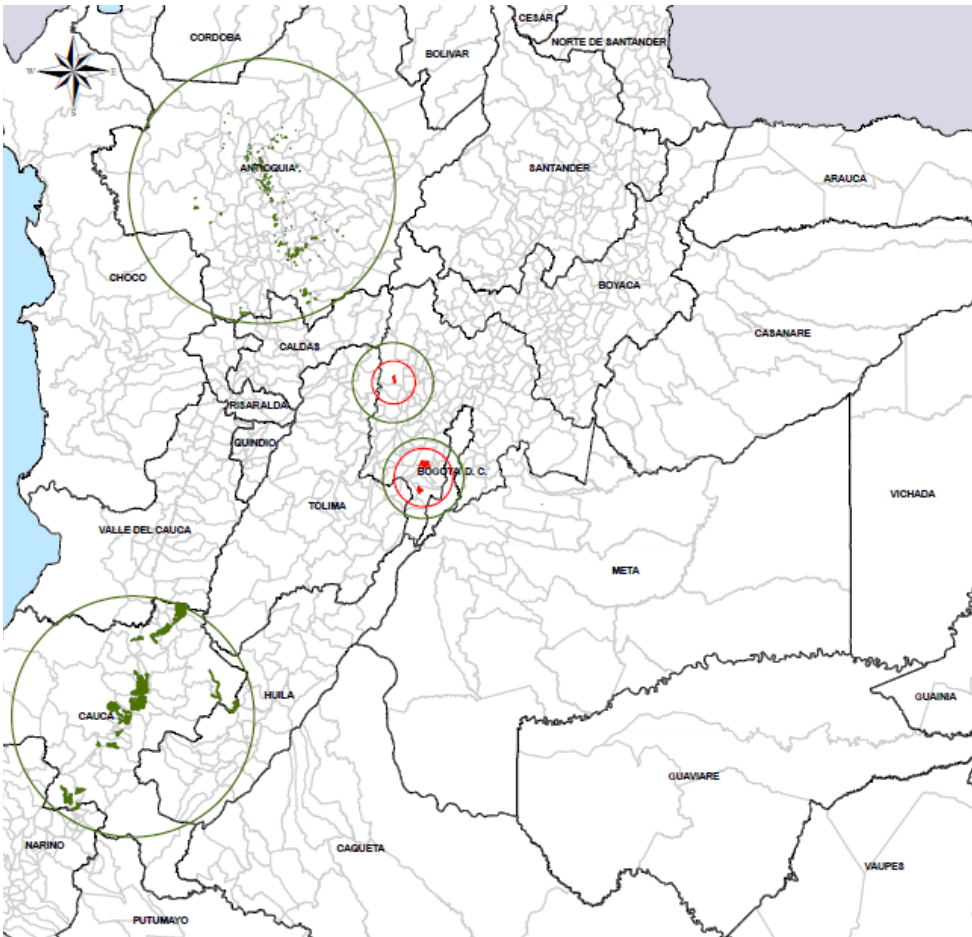
PUNTAJE = 3. Apoyo regional

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 & Abdulkarimov, 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 nutracéuticas 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

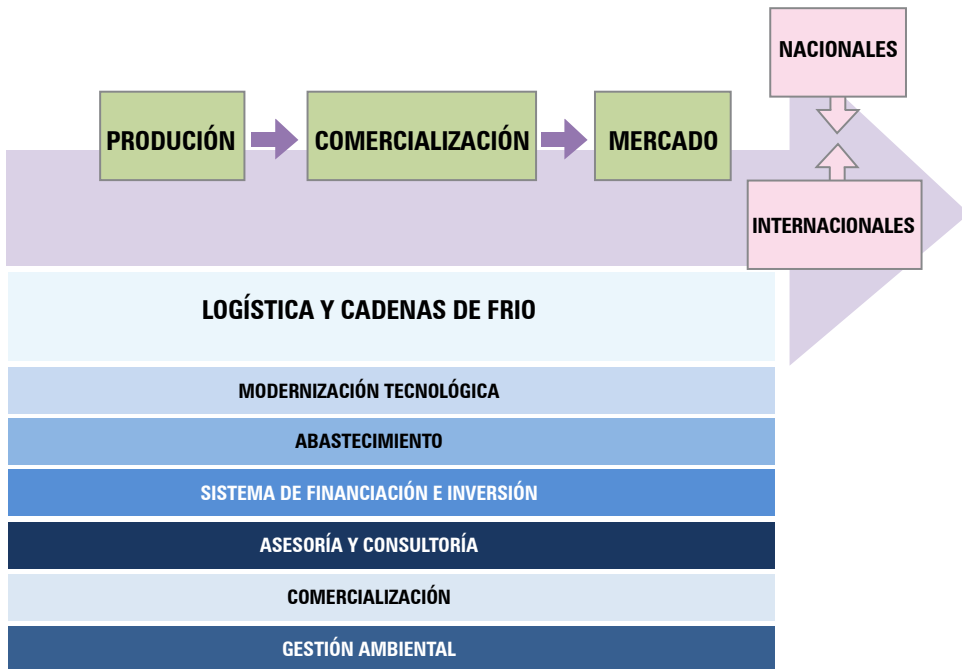
PUNTAJE = 3. Amplio Apoyo regional

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.

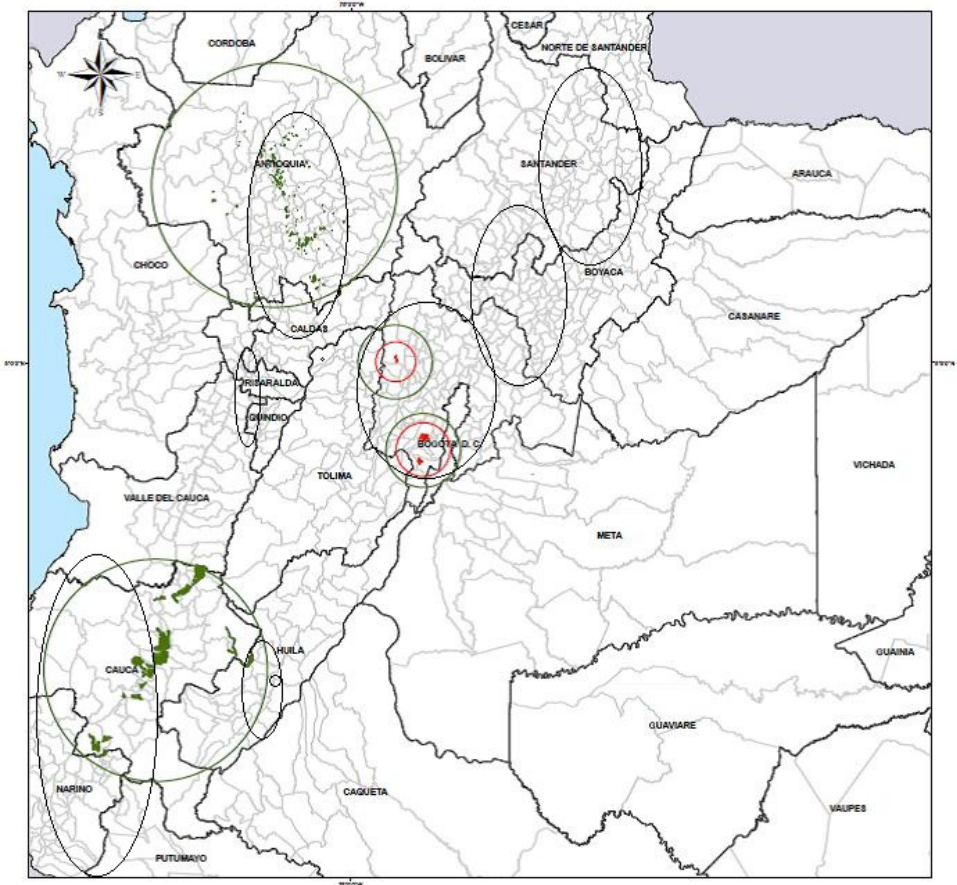
Dentro de los riesgos analizados están los problemas de infraestructura, logística y la ausencia de protocolos para la consolidación de una cadena de frío desde el productor hasta el mercado final, lo que permitiría la exportación de este tipo de producto a nuevos mercados con mayor éxito (Figura 5).

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 sombrero 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.

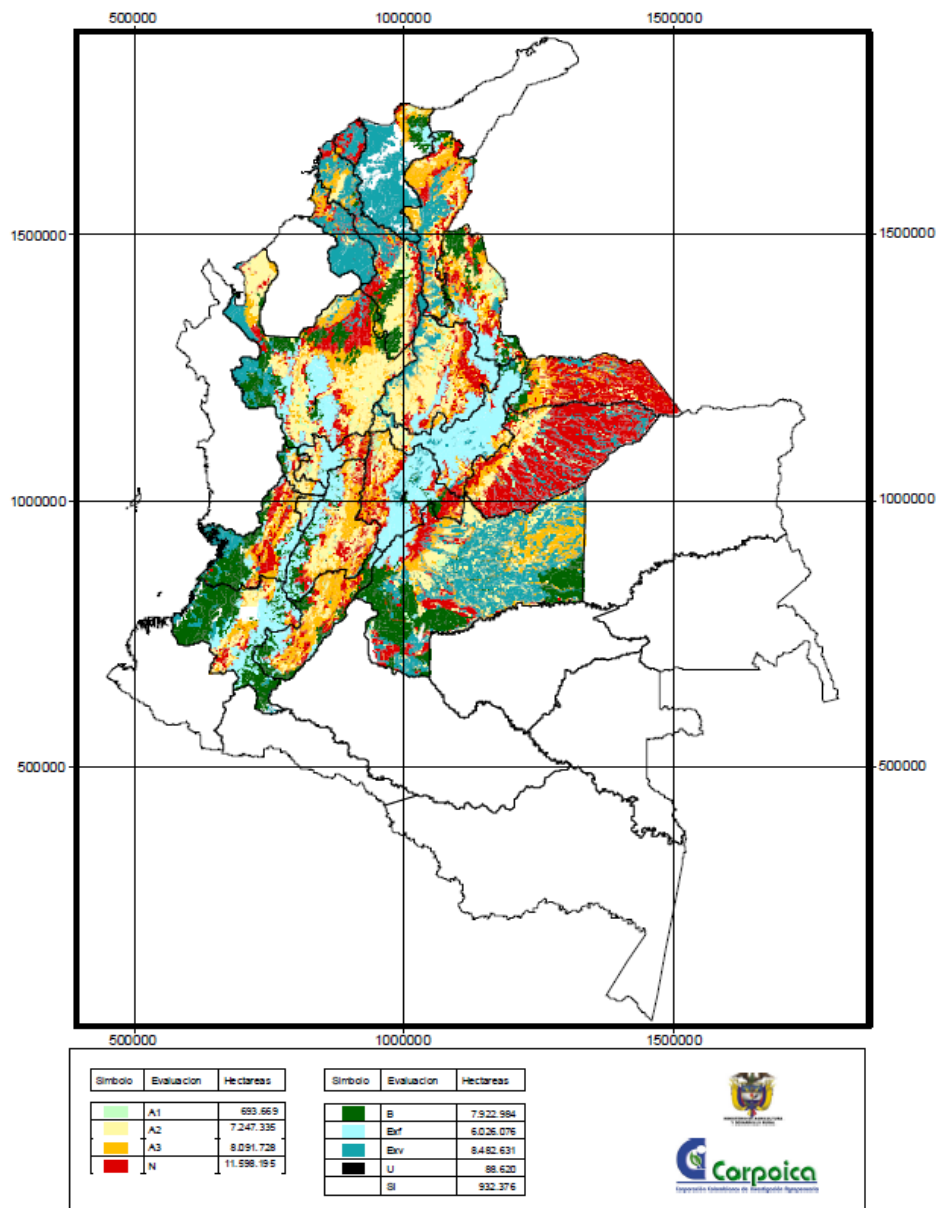
- Colombia cuenta con 410 accesiones de cacao que se encuentran en el banco de germoplasma de la nación, caracterizadas parcialmente. En la actualidad, se adelantan caracterizaciones organolépticas de 50 materiales de la colección de trabajo de Corpoica, para generar perfiles sensoriales que permitan 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. Estadísticas 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
- Szczec 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 Agriculture (USDA)(2011) Frozen Potato Products: World Markets and Trade. . [on line]. [Referent Date: abril 5 de 2012] From: http://www.fas.usda.gov/http/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 - mзуlуаgа@corpoica.org.co

Marjorie Santamaria - santamaria.marjorie@gmail.com

Martha Isabel Gómez - mgomezа@corpoica.org.co

Olga Lucia Mayorga - omayorgа@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 - lrodriguezр@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 Jaimes - yjaimes@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**

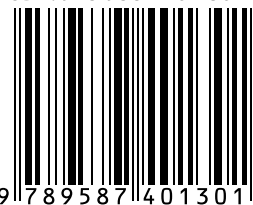


BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

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