

dossier

Ingeniería y Agro



Imagen: <http://blog.ecosystem-services.org/2011/01/13/oil-palm-expansion-in-indonesia-the-case-for-trade-off-analyses-of-ecosystem-services/>

Ingeniería y Agro

Gabriel Cadena Gómez^a

Editor invitado

INTRODUCCIÓN

La agricultura es mucho más que producir un cultivo o criar animales. Por el contrario, la agricultura debería ser definida como la industria de los alimentos, dado que incluye todo lo relacionado con la producción de los alimentos y las fibras que necesitamos para sobrevivir, así como también los productos deseados para disfrutar del bienestar que proporcionan. La agricultura se extiende desde los recursos naturales como el suelo, el agua, el aire hasta las actividades para cultivar plantas y ganados, el arte del cultivo y explotación de la tierra, y además, la industria que procesa las materias primas en productos para el consumo. Incluye también las actividades de almacenamiento, transporte, distribución y mercadeo de esos productos tanto a nivel nacional como internacional; al mismo tiempo, los temas de financiación, seguridad de los alimentos y protección del medio ambiente con el objeto de obtener productos con fines humanos o con destino a los animales domésticos [1].

La agricultura es, por tanto, una actividad muy antigua, con origen en la prehistoria, que es actualmente un sector económico indispensable y fundamental en la alimentación, la industria, el comercio, el medio ambiente y el sector energético a nivel mundial.

De acuerdo con pruebas obtenidas en excavaciones en el Oriente Próximo, se estima que hace 19.000 años en



Imagen: <http://www.pregonagropecuario.com.ar/cat.php?txt=829>

esa región se recolectaban formas silvestres de cereales (no cultivadas previamente), como cebada y trigo, así como otras plantas y frutos. Por la riqueza de la flora y la fauna identificadas, se deduce la existencia de una forma de vida basada en la recolección, la caza y la pesca. Según los estudios arqueológicos, se cree que durante 12.000 y 10.000 años estas prácticas se intensificaron como una costumbre [2].

Los primeros granos cultivados fueron el mijo y el sorgo en el norte de África, arroz en India y China, y maíz en América. En este último (México y otros países del continente americano) se conoce la existencia desde hace unos 8.000 años de la producción de calabazas para la alimentación y construcción de vasijas. Desde entonces, todos los pueblos de la Tierra han reconocido el valor que las plantas cultivadas tienen para la alimentación humana y de los animales domésticos.

^a Ingeniero Agrónomo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. MSc. en Fitopatología, Programa de Estudios Graduados ICA-Universidad Nacional de Colombia. Ph.D. Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University, West Lafayette, IN., USA. Rector de la Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia.
✉ gabrielcadena@autonoma.edu.co

Se sabe por hallazgos arqueológicos que el perro fue el primer animal domesticado hace 8.000 años y, con posterioridad, lo fueron la oveja, el buey y el cerdo. Se produjo así una “revolución neolítica”, al descubrirse la agricultura y la domesticación de animales como una perfecta combinación para sobrevivir, de acuerdo con las nuevas formas de vida sedentarias. Las novedosas actividades basadas en la agricultura exigieron de los primitivos agricultores su permanencia en un lugar fijo para cuidar de los cultivos.

LAS PRIMERAS HERRAMIENTAS

Las primeras herramientas utilizadas en las tareas agrícolas del Neolítico eran básicamente las mismas que utilizaban en el Paleolítico para recolectar raíces, las cuales estaban construidas de madera y piedra. Posteriormente, mediante piedras afiladas, sílex, hueso y maderas más o menos torneadas se armaron azadas para cavar la tierra, hoces para recoger el grano e, incluso, arados rudimentarios usando ramas de árboles convenientemente modificadas para levantar y voltear la tierra a mano, con el objeto de prepararla para la siembra. Después, se adaptó el arado para ser tirado por animales.

INGENIERÍA PRECOLOMBINA

Las grandes civilizaciones que florecieron en las áreas mesoamericana y andina no sólo habían resuelto exitosamente los problemas de subsistencia alimentaria, sino que además habían creado ingeniosos y eficientes sistemas agrícolas. Las chinampas aztecas o las terrazas de cultivo andinas, utilizadas aún hoy en día, son un claro ejemplo del aprovechamiento racional de los recursos que proporcionaba el suelo americano. Los antiguos peruanos del Cusco, al no tener yunta por la falta de animales para realizar sus labores agrícolas, utilizaron el arado de tracción humana denominado *tajlla* o *chaquitajlla*, que es un palo puntiagudo con una punta un tanto encorvada, que a veces era de piedra o de metal. Estas herramientas manuales no han podido ser superadas para cultivar en las laderas andinas o en ámbitos limitados como los andenes [3].

La América indígena aportó al mundo numerosas especies vegetales domesticadas. Estas constituyeron el 17% de los cultivos que se consumían entonces en todo el orbe. Entre ellas se pueden destacar: el maíz —base alimenticia de los indígenas—, la papa, los frijoles, el cacao, la yuca, el tabaco, los tomates, el maní y numerosas frutas tropicales (piña, chirimoya, aguacate, entre otras).

Los incas tuvieron una especial preocupación por encontrar formas para mejorar las condiciones del suelo para la agricultura. La variedad del clima y del territorio difícil los llevaron a buscar soluciones diversas, y fueron muchas las formas que encontraron para hacer frente al problema. Entre las medidas más conocidas está la construcción de andenes, de enorme importancia durante el gobierno incaico, aunque demandaban movilizar grandes cantidades de mano de obra. Los andenes eran terrazas agrícolas artificiales que sirven para obtener tierra útil para la siembra en las escarpadas laderas andinas. Permitían aprovechar mejor el agua, tanto en lluvia como en regadío, haciéndola circular a través de los canales que comunicaban sus diversos niveles, por lo que se evitaba así la erosión del suelo.

Los camellones eran terrenos artificiales construidos en las riberas del lago Titicaca, montículos de tierra que permitían almacenar y aprovechar mejor el agua en lugares de frecuentes inundaciones a causa de las lluvias. Los Incas usaron una serie de técnicas agrícolas en los camellones, entre ellas, el trazado de surcos artificiales para dar protección a las plantas; para facilitar el drenaje durante las lluvias, inundaciones y riego, como fuentes de abono; y, especialmente, para disminuir el crudo frío nocturno en las alturas, evitando de este modo el daño de las heladas [3].

La historia de la papa comienza hace unos 8.000 años, cerca del lago Titicaca. Ahí, las comunidades de cazadores y recolectores que habían poblado el sur del continente, por lo menos unos 7.000 años antes, comenzaron a domesticar las plantas silvestres de la papa que se daban en abundancia en los alrededores

del lago [4]. Si bien los agricultores andinos cultivaron muchas hortalizas y cereales, como el tomate, los frijoles y el maíz, sus variedades de papa eran particularmente adecuadas a la zona del valle quechua, que se extiende a alturas de 3.100 a 3.500 metros sobre el nivel del mar, a lo largo de las vertientes de los Andes centrales. Los agricultores también produjeron una especie de papa resistente a las heladas, que sobrevive en la tundra alpina de la región de la Puna, a 4.300 metros de altura. La seguridad alimentaria que ofrecían el maíz y la papa, consolidada a través de la irrigación y la construcción de terrazas, permitió que surgiera, alrededor del año 500 DC, la civilización Huari en las tierras altas de la cuenca de Ayacucho. Por esa misma época, la ciudad Estado de Tiahuanacu se formó cerca del lago Titicaca, gracias en gran medida a su avanzada tecnología de “campos alzados”, parcelas elevadas bordeadas de canales de riego cuya productividad se ha estimado en unas 10 toneladas por hectárea. Se considera que en su apogeo, alrededor del año 800 DC, Tiahuanacu y los valles circundantes tenían una población de medio millón de habitantes o más.

La caída de Huari y Tiahuanacu entre los años 1000 y 1200 dio lugar a un período de desorden que terminó con el ascenso meteórico de los incas, en el valle de Cusco, alrededor del año 1400. En menos de 100 años crearon el Estado más grande de la América precolombina, que se extendía desde lo que hoy es Argentina hasta Colombia.

Los incas adoptaron y mejoraron los adelantos agrícolas de las culturas anteriores de las montañas, y dieron especial importancia a la producción de maíz. Pero la papa fue decisiva para la seguridad alimentaria de su imperio. En la vasta red de almacenes del Estado inca, la papa —sobre todo un producto elaborado con la papa desecada y congelada, llamado *chuño*— fue uno de los principales artículos alimentarios, usado para alimentar a los oficiales, soldados y esclavos, así como reserva para casos de emergencia cuando se malograban las cosechas.

LA AGRICULTURA EN AMÉRICA

La invasión española, en 1532, puso fin a la civilización inca, pero no a la papa. A lo largo de toda la historia andina, la papa, en todas sus formas, ha sido profundamente un “alimento del pueblo”, y ha desempeñado un papel central en la perspectiva andina del mundo (el tiempo, por ejemplo, se medía por el que era necesario para cocinar las papas).

Los campesinos de algunas partes de los altos de los Andes siguen midiendo la tierra en *topos*, la superficie necesaria para que una familia cultive las papas que necesita (los *topos* son más extensos a mayor altura, donde necesitan dejarse en barbecho por más tiempo). Clasifican las papas no sólo por su especie y variedad, sino también por el nicho ecológico donde se producen mejor, y no es raro encontrar cuatro o cinco especies cultivadas en una misma parcela pequeña. Así pues, el cultivo de los tubérculos sigue siendo la actividad más importante de la temporada agrícola cerca del lago Titicaca, donde la papa es denominada *Mamá Jatba* o madre del crecimiento. La papa es aún la semilla de la sociedad andina [4].

El origen del maíz hasta ahora no se ha resuelto. Se necesitan estudios modernos sobre las razas primitivas, su genealogía y su evolución. La primera mención del maíz desde el punto de vista botánico corresponde al año de 1532. Recientemente, se han hecho avances gracias a los estudios sobre granos de polen. En Guatemala, un equipo de investigadores estadounidenses halló evidencias de que el maíz se cultivaba 5000 años AC en la costa sur de Guatemala en áreas que fueron pobladas por los mayas, cuya cultura pudo haber florecido hace unos 2.400 años. Además, se han encontrado muestras en atados funerarios de maíz, en todas las excavaciones incas, precolombinas y que tiene prueba C14 de antes de Cristo. Por su parte, los conquistadores en México encontraron una gran población indígena con una avanzada cultura. La agricultura era una de las más importantes actividades, en la cual el maíz ocupaba el primer lugar. El maíz se distribuyó ampliamente en el territorio continental americano así como también a las islas del Caribe [5].

Los cultivos indígenas y las plantas y ganados traídos de Europa permitieron el desarrollo de una variada actividad agrícola en América. Los europeos introdujeron los cultivos de cereales, leguminosas, diversas hortalizas, la vid, el olivo, la caña de azúcar, el café y algunas especias, muchas de ellas de origen asiático. Asimismo, los animales que acompañaron a los conquistadores españoles se reprodujeron y dispersaron rápidamente por todo el territorio americano. Caballos, cerdos, vacas, ovejas y aves de corral comenzaron a pulular en todo asentamiento humano, incluso indígena.

A lo largo de los siglos XVII y sobre todo XVIII, la agricultura se transformó en la actividad económica más importante en América. Ello se debió principalmente al crecimiento de la población, con el consiguiente aumento de la demanda de alimentos; a la valorización social que otorgaba la posesión de la tierra; y al establecimiento de numerosas haciendas en territorios que antes no se destacaban por su productividad.

Los factores climáticos y geográficos determinaron el desarrollo de ciertas zonas que se especializaron en el cultivo de algunas plantas o en la crianza de ganado mayor. De esta manera, en las Antillas sobresalían las plantaciones de la caña de azúcar y la ganadería. Nueva España y Centroamérica se destacaron por el tabaco, el cacao, el trigo, la seda, el azúcar, el algodón, el añil y la grana o cochinilla. En el norte de México prosperó la ganadería extensa, al igual que en El Caribe, tierra del chocolate. En Colombia son los principales rubros agrícolas el café, la caña de azúcar, el banano, la ganadería y, más recientemente, la palma de aceite y las flores de corte.

La Expedición Botánica, en el territorio que hoy es Colombia, se destaca como el primer esfuerzo organizado por conocer los recursos naturales y especialmente la flora que los españoles encontraron en este territorio. Esta primera misión científica para el reconocimiento de los recursos sociales y naturales del Nuevo Reino, estuvo a cargo de intelectuales criollos bajo la dirección de José Celestino Mutis. La expedición recorrió el territorio virreinal entre 1782 y 1810, estimuló la formación de sociedades patrióticas para el desarrollo económico,

creó una conciencia entre las élites criollas en torno a sus problemas y soluciones, y mostró la necesidad de hacer más científica la educación superior.

LA INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA MODERNA

En los albores de la civilización el conocimiento agrícola se generó a partir de experiencias individuales, transmitidas oralmente de generación a generación. Posteriormente se inició la recopilación y la documentación en las universidades, pero sólo a partir del siglo XVIII en Inglaterra y con la creación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos -USDA, en 1860 se empezó a generar conocimientos científicos en instituciones especializadas para ser aplicados a la agricultura. En Inglaterra la que se puede considerar como la primera institución de investigación agrícola fue creada por John Bennet Lawes, quien obtuvo la patente para el superfosfato en 1842, creó la primera fábrica de fertilizantes químicos en 1843 y fundó Rothamsted Experimental Station en compañía de Joseph Henry Gilbert, la cual ha mantenido su tradición en investigación agrícola hasta el presente [6].

INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA EN COLOMBIA

La investigación agrícola es un fenómeno que se ha vinculado de un modo muy estrecho con el desarrollo económico e institucional de las naciones. La probabilidad de que se creen sistemas de investigación es directamente proporcional al grado de desarrollo y al tamaño de los países.

En Colombia, la creación de la Sociedad de Agricultores en 1871 demuestra el grado de desarrollo e importancia de la agricultura en aquella época. Lo anterior, sin duda, contribuyó positivamente a que los gobiernos de la época, a pesar de las dificultades políticas y económicas, tomara decisiones de crear instituciones como la Universidad en 1868 y las primeras escuelas agrícolas que posteriormente dieron origen a las facultades de agronomía en Medellín (1911) y en

el Valle del Cauca (1934). Los primeros nueve profesionales del agro formados en el país se graduaron en 1922 y se constituyeron en los líderes que señalaron el rumbo del sector agropecuario [7]. Es importante anotar que actualmente existen 17 programas que ofrecen el título de Ingeniero Agrónomo y 10 el de Ingeniero Agrícola.

La Misión Belga en 1914 fue muy importante ya que recomendó la creación del Instituto Nacional de Agricultura con servicio de investigación, laboratorios, campos de experimentación y servicio de enseñanza y divulgación. Igualmente, fue clave la Misión Chardón que, según lo transcribe la *Revista Cafetera de Colombia* en el año de 1929 al referirse al interés por el desarrollo científico de la agricultura en Colombia, expresó que para orientar dichas actividades se debía contar con recursos humanos calificados, dotados de equipos y apoyos para la investigación y alejados de las actividades políticas. Con seguridad, las recomendaciones de Chardón fueron semillas sembradas en suelo fértil que han rendido sus buenas cosechas en Colombia: el énfasis puesto en el recurso humano idóneo, ético y alejado de las malas influencias ha sido fundamental en la historia de la investigación agrícola del país. El Instituto Nacional de Agricultura fue reglamentado en el año de 1935 y sirvió para sentar las bases para la articulación de los servicios de investigación de varias estaciones experimentales creadas durante varios años [8].

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - CENICAFÉ

En 1927 la Federación Nacional de Cafeteros, consciente de la necesidad de contar con el apoyo del conocimiento para asegurar un mejor porvenir a la nascente organización gremial, destinó desde el primer presupuesto una importante partida para la creación de la “Sección Científica”. Dicha iniciativa se concretó inicialmente en la Granja Escuela “La Esperanza” en Cundinamarca y a partir de 1938 con la creación del Centro Nacional de Investigaciones de Café –Cenicafé en Chinchiná, Caldas. Desde su creación, Ceni-



Imagen: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cafe/

café se convirtió en el soporte tecnológico del gremio cafetero, pues generó todo el conocimiento que ha sido fundamental para el progreso de la actividad cafetera en el país [9]. Las primeras investigaciones en la sede de Chinchiná se orientaron a la caracterización de los suelos y del clima predominante en la zona cafetera, y al desarrollo de prácticas de conservación de suelos [10].

Posteriormente, los investigadores del Centro se enfrentaron al reto de incrementar la producción cafetera. A partir de 1955 se iniciaron las verdaderas investigaciones sobre el mejoramiento genético del cafeto. La variedad Typica fue introducida inicialmente; luego, la introducción de la variedad Borbón, le permitió a los mejoradores de Cenicafé demostrar que era hasta un 30% más productiva que la variedad Typica. [11] A partir de 1960, los investigadores de Cenicafé desarrollaron las tecnologías que fueron fundamentales para el impresionante progreso del cultivo del café en la segunda parte del siglo XX. Los elementos básicos fueron los estudios con la variedad Caturra, la generación de conocimientos sobre la nutrición del cafeto, el efecto de la densidad de siembra, el manejo de las arvenses y los sistemas de renovación. Esta tecnología, permitió que el país pasara de tener 21.000 hectáreas de café cultivado con alguna tecnología a

210.000 en tan solo diez años y que se pasara de producir 7 millones de sacos anuales a 12 millones en los años 80, representando un incremento del 58% en productividad en tan solo 10 años [12].

A principios de la década de los años 80, la amenaza de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) se hizo una realidad. La principal enfermedad que afecta al cafeto en el mundo fue diagnosticada por primera vez afectando nuestras plantaciones. Los fitomejoradores del Centro iniciaron con veinte años de anticipación un audaz proyecto científico que culminó con la obtención de una nueva variedad de café arábigo con excelentes características agronómicas, de calidad en taza y con resistencia durable a la roya del cafeto. Esa nueva variedad fue nombrada variedad Colombia y por sus características especiales fue rápidamente adoptada por los caficultores colombianos debido a los obvios beneficios económicos [13].

Entre los años 1985 y 1987, se sembraron más de cien mil hectáreas con la nueva variedad y, como resultado, en el año de 1991 Colombia rompió todos los records previos de producción al registrar 18 millones de sacos de café gracias a la adopción de la variedad Colombia en un ambiente internacional de precios favorables.

En 1988, un nuevo problema fitosanitario, empezó a afectar la producción cafetera nacional. La broca del café (*Hypothenemus hampei*), rápidamente se extendió a todas las regiones productoras del grano. Este insecto plaga, originario de África, sólo afecta al cafeto y su ciclo de vida lo cumple dentro del grano, causando pérdidas cuantiosas en cuanto a la cantidad y a la calidad de la cosecha. Cenicafé inicio un programa de investigación orientado bajo la filosofía del Manejo Integrado de Plagas (MIP), con el fin de evitar que el control se realizara exclusivamente usando insecticidas químicos como ocurre en el resto de los países cafeteros del mundo donde la plaga está presente [14]. Los entomólogos iniciaron estudios que condujeron a la identificación de hongos entomopatógenos que apropiadamente cultivados y aplicados en el campo, cumplieran un papel importante en la reducción de la

población adulta de la plaga. Del mismo modo, se desarrolló el concepto del control cultural, consistente en la recolección permanente de los frutos. Las investigaciones sobre control biológico incluyeron la introducción desde África de enemigos naturales que actuaban como parasitoides especializados de la plaga [15].

No obstante el éxito del manejo integrado para el control de la broca, la solución ideal para un problema de esta naturaleza es contar con variedades resistentes. Esa búsqueda de material genético con resistencia a la broca se inició en el Banco de Germoplasma de Cenicafé, que cuenta con más de mil introducciones, tanto de especies diploides como tetraploides pertenecientes al género *Coffea* spp. En ningún país cafetero se ha registrado la existencia de germoplasma con resistencia a la broca. Cenicafé, inicio el proyecto para el estudio del genoma del café [16].

Otro reto para los caficultores colombianos lo constituye el proceso del beneficio húmedo del café. La calidad del grano de exportación depende en gran medida de la calidad de la cosecha y de la forma como el fruto sea tratado posteriormente. Sin embargo, la tradición colombiana ha sido la de utilizar grandes volúmenes de agua durante dicho proceso. Esta agua se contamina con los residuos sólidos (pulpa) y líquidos (mucilago fermentado) lo cual constituye un problema ambiental para las comunidades cafeteras. Por esta razón, Cenicafé consideró conveniente investigar formas de descontaminación del agua del beneficio del café, en lo cual fue muy exitoso (proceso de biodegradación anaeróbica). También desarrolló el proceso de beneficio ecológico conocido como Becolsub [17].

La producción de café en Colombia es intensiva en el empleo de la mano de obra, lo cual representa el 60% de los costos totales de producción. La mano de obra empleada en la recolección de la cosecha constituye entre el 39 y el 40 % de los costos totales. La cosecha en Colombia se realiza a mano por tradición, por las dificultades de la topografía, por la falta de uniformidad en la maduración de los frutos (efecto del clima) y por la carencia de tecnologías alternas.

Con el fin de contribuir a la reducción de los costos de producción, Cenicafé estructuró un programa de investigación para desarrollar innovaciones tecnológicas para proponer procesos más eficientes de cosecha. El plan de investigación se basó en cuatro campos: conocimientos básicos, cosecha manual asistida, cosecha mecanizada y estudios de tiempos y movimientos. Como resultado de estas investigaciones, no sólo se logró la formación de un buen número de profesionales jóvenes en este campo de la Ingeniería, sino que además se lograron avances fundamentales. Por primera vez se pudo conocer todo lo relacionado con los procesos que se realizan por parte de los recolectores durante la cosecha del café. Con base en esos estudios, se desarrolló un sistema mejorado de cosecha que la hace más eficiente, eficaz y menos costosa, ya que se evita la caída de los frutos al suelo [18]. También se desarrollaron sistemas de recipientes combinados con mallas para hacer más ágil la cosecha y de mejor calidad; se diseñaron máquinas manuales y con pequeños motores accionados por baterías, se progresó en el conocimiento y la aplicación de los principios de vibración al tallo y a las ramas para el desprendimiento masivo de frutos maduros; se diseñaron prototipos de máquinas autopropulsadas para la cosecha mecanizada en suelos de menos pendiente. También se diseñó un equipo autopropulsado para altas pendientes. Se aplicaron técnicas electrónicas para la identificación de los frutos maduros con el fin de lograr la cosecha selectiva (indispensable para mantener la calidad del café). [19, 20, 21, 22, 23].

Una investigación conducida por la Universidad de los Andes demostró que, por cada peso invertido, la investigación generada por Cenicafé le está revirtiendo al gremio una cantidad que varía entre \$1.21 y \$1.32, solamente por concepto de la obtención de una variedad resistente. Estas afirmaciones permiten concluir que en el caso de la caficultura colombiana los recursos asignados a la investigación no deben ser considerados como bien de consumo, sino como una inversión rentable [24]. Los resultados de dicho estudio sobre el impacto económico de la variedad

Colombia, mostraron cómo una brillante idea, con sólidas bases científicas, le ha permitido a los caficultores colombianos ser competitivos y no tener que incurrir en costos adicionales por las pérdidas que causa una enfermedad, así como la no aplicación de fungicidas que son costosos y que de alguna manera contribuirían a la contaminación ambiental. En el año 2002, una nueva variedad de porte alto, apta para regiones cafeteras en donde se emplea el sombrero, con resistencia durable a la roya, buena calidad en taza y buena productividad, fue entregada a los caficultores. Esta nueva variedad fue nombrada *TABI*, que en lengua guambiana significa “bueno” [25]. En el 2005, se entregó a los caficultores una nueva variedad con resistencia a la roya del cafeto, a la enfermedad de las cerezas del café y con características de calidad física y organoléptica mejoradas. Esta variedad se denominó variedad Castillo en honor al Dr. Jaime Castillo Zapata quien, en compañía del Dr. Germán Moreno Ruíz, había entregado la variedad Colombia en 1982.

LOS CENIS

Siguiendo el ejemplo de los cafeteros, el sector azucarero creó en 1977 a Cenicaña, los bananeros crearon Cenibanano en 1985, los palmeros a Cenipalma en 1991, Ceniagua en 1993, Cevipapa en 1999 y los floricultores a Ceniflores en 2004. Estos centros sectoriales de investigación agrícola están agrupados en CENIREC [26] desde finales del 2003, con el propósito de buscar el fortalecimiento y la cooperación de un modelo que a todas vistas ha resultado exitoso para la agricultura colombiana.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA – CENICAÑA

Las actividades de investigación en el Valle del Cauca comenzaron institucionalmente en 1930 con la iniciación del programa de caña de azúcar en la Estación Experimental en Palmira. En la década del 40, los ingenios azucareros iniciaron actividades de investigación-experimentación y, posteriormente, después de 1955, establecieron convenios cooperativos con el



Imagen: www.centralamericadata.com



Imagen: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Various_types_of_potatoes_for_sale.jpg

programa de caña de azúcar del ICA. En 1977, la Comisión Nacional Azucarera aprobó el proyecto presentado por Asocaña y la Asamblea de constitución del Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia - Cenicaña. El centro fue constituido como una corporación privada de carácter científico y tecnológico sin ánimo de lucro [27].

Gracias a la integración del sector productivo representado por Asocaña que agrupa a los 13 ingenios azucareros del Valle del Cauca, con su Centro de Investigación Cenicaña, es evidente el progreso continuo del sector azucarero nacional con la adopción de las tecnologías generadas en el Centro de Investigación. En las últimas tres décadas, se pueden resumir en los siguientes resultados:

El 97% de las 205 mil hectáreas sembradas en caña de azúcar en el Valle del Cauca son con variedades desarrolladas por Cenicaña o importadas y evaluadas por el centro. Así el sector no depende de varieda-

des desarrolladas para otros sistemas agroecológicos. Actualmente, se cuenta con numerosas variedades en etapa de evaluación. Otro logro es la llamada agricultura específica por sitio y la zonificación agroecológica que ha logrado incrementos en producción hasta del 40% en algunas zonas. También el desarrollo y fortalecimiento de las medidas de control biológico de insectos plaga, que es una técnica ampliamente aplicada por los cultivadores. En relación con el manejo de las aguas, éstas se han reducido hasta en un 50% gracias a las investigaciones de Cenicaña.

También se han logrado avances en materia de fertilización, conservación de suelos, corte de caña y mejoramiento industrial gracias al cual se ha incrementado en un 40% la autogeneración eléctrica, se ha disminuido en 50% el tiempo perdido en los ingenios azucareros, se ha estabilizado en 88% la eficiencia global del proceso fabril y se ha reducido en un 8% las pérdidas totales de sacarosa [27].

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE – CENIPALMA

El XVII Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite tomó la decisión de crear su propio centro gremial de investigación, y fue así como el 22 de septiembre de 1990 se gestó la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, que inició su vida jurídica el 1 de enero de 1991. Se creó como una corporación de carácter científico y técnico, sin fines de lucro, cuyo propósito es “generar, adaptar y transferir tecnología en el cultivo de la palma de aceite, su procesamiento y consumo [28].

A finales de los años 80 del siglo pasado, Colombia ya contaba con cerca de 100.000 hectáreas sembradas de palma de aceite, y las plantaciones de palma afrontaban problemas tecnológicos, especialmente en lo relacionado con la proliferación de plagas y enfermedades (por ejemplo, la pudrición del cogollo).

CENTRO DE INVESTIGACIONES DEL BANANO – CENIBANANO

El Centro de Investigaciones del Banano, Cenibanano, inició sus labores como parte de Augura desde 1985; sin embargo, venía operando desde 1976 como parte de United Fruit Company. Se creó en respuesta a la necesidad del sector bananero de tener un constante mejoramiento en el desempeño tecnológico para lograr mantener la competitividad. Su sede principal está ubicada en las instalaciones de la Asociación en Carepa, Antioquia, en donde cuenta con un laboratorio para el desarrollo de todas sus investigaciones.

La misión de Cenibanano consiste en ofrecer al productor bananero un soporte tecnológico que permita aumentar la productividad de su finca, mediante la generación de tecnologías adaptadas a las condiciones locales de producción, orientadas a la reducción en costos y al incremento en competitividad económica y ambiental de la fruta colombiana.

Cenibanano desarrolla una línea de investigación que en el mediano plazo busca optimizar la información que se genera en la finca bananera: determinar su nivel de fertilidad, mapear las características físicas y

químicas del suelo y relacionarlas con los índices de productividad, determinar los efectos de la Sigatoka Negra, los Nematodos o el Moko, entre otros aspectos. Esto lo hace mediante el uso de Agricultura de Precisión a través de tecnologías como el GPS (Sistemas de Geoposicionamiento Referencial) y el SIG (Sistemas de Información Geográfica) y de imágenes satelitales y aéreas que se toman a diferentes áreas de los cultivos, para determinar con exactitud esa información. Se han realizado importantes acuerdos con universidades, centros de investigación y diversas instituciones nacionales e internacionales en busca de apoyo y recursos que posibiliten el desarrollo de nuevos proyectos de investigación en banano [29].



Imagen: <http://blog.ecosystem-services.org/2011/01/13/oil-palm-expansion-in-indonesia-the-case-for-trade-off-analyses-of-ecosystem-services/>



Imagen: <http://www.public-domain-image.com/plants/tree/banana-tree/slides/bananas-tree.html>



Imagen: <http://fondosdeescritorioelvia.blogspot.com/p/fondos-de-flores.html>

CENTRO DE INNOVACIÓN DE LA FLORICULTURA COLOMBIANA – CENIFLORES

Ceniflores como Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana, es una corporación privada sin fines de lucro, con personería jurídica y una organización de tipo virtual con mínima infraestructura administrativa, flexible y eficiente para promover la investigación y articular las necesidades de los productores con la oferta de tecnología nacional e internacional. Sus áreas de investigación son principalmente: protección de cultivos, producción, investigación social, postcosecha, uso del agua, manejo ambiental, suelos y sustratos, y economía y mercados [30].

CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL – CONIF

La Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF es una entidad de carácter privado y sin ánimo de lucro, dedicada a “generar la tecnología y estudios para el establecimiento de plantaciones forestales productivas y protectoras, el manejo y la con-



Imagen: <http://www.elperiodicoverde.com/wp-content/uploads/2011/05/forestal-el-periodico-verde.jpg>

servación de los bosques naturales y promover entre la comunidad modelos forestales, agroforestales y silvopastoriles para el desarrollo sostenible rural” [31].

Conif ha adelantado estudios, investigaciones científicas y actividades técnicas y de asesoría tendientes a la recuperación, conservación, protección, zonificación y ordenamiento de los recursos forestales del país, así como sobre su manejo ecosistémico, uso y aprovechamiento; dentro del marco de las políticas señaladas por el Gobierno Nacional, a quién ha apoyado en la definición de políticas y estrategias para la planificación sectorial a nivel nacional, regional y local.

EL SECTOR PÚBLICO

Después de la Segunda Guerra Mundial el gobierno de los Estados Unidos con base en el éxito del Plan Marshal, diseñó un programa adicional bajo el título de Punto IV, para transferir conocimientos y tecnologías a los países menos desarrollados del mundo y

con el fin de aliviar el problema de abastecimiento de alimentos. Este Programa se apoyaba en un inicio en la cooperación entre las universidades norteamericanas con los países, mediante el desarrollo de asistencia técnica en servicios de extensión agrícola y entrenamiento de docentes en dichas universidades.

Después, en los años 60 el énfasis se le dio al desarrollo de la investigación y la cooperación técnica en este campo debido a que se había concluido que gran parte de la tecnología transferida no era fácilmente adaptable a las condiciones locales. Entre 1960 y 1969 se logró la capacitación de más de 3.000 profesionales latinoamericanos a nivel de Ph.D. en ciencias agrarias en universidades norteamericanas, lo cual permitió a la mayoría de los países de la región desarrollar y consolidar su infraestructura de investigación pública [8].

EL INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO - ICA

En 1962, se creó el Instituto Colombiano Agropecuario, con el propósito de coordinar e intensificar las labores de investigación, enseñanza y extensión de las ciencias agropecuarias, para el mejor y más armónico desarrollo de todas las actividades del sector, y especialmente para facilitar la reforma social agraria. En 1963, se le otorgó al Instituto el carácter de establecimiento público que reemplazó al Departamento de Investigaciones Agrarias (DIA).

El ICA hizo grandes contribuciones al desarrollo agrícola del país. Se destacan la iniciación del programa de algodón, la producción de semilla híbrida de cacao, el control del perforador de los tallos del maíz, la adaptación fisiológica de novillas holstein y pardo suizo a la región agroecológica del Sinú, y el Servicio de análisis de suelos, en concomitancia con el entrenamiento en interpretación de resultados y recomendación de fertilizantes.

Los resultados de la investigación realizada se pueden valorar a través del comportamiento de la agricultura colombiana en el decenio 1960-1970, caracterizado por un notable crecimiento de la agricultura comercial y un estancamiento relativo del sector tradicional o productor de alimentos. El rendimiento por hectá-

rea y las exportaciones aumentaron en varios cultivos (algodón, caña de azúcar, trigo y arroz).

En 1968, el Instituto aumentó significativamente sus recursos presupuestales, de infraestructura y de planta de personal. En el periodo 1970-1975, la producción agrícola colombiana tuvo una de las más altas tasas de crecimiento, pues el producto interno bruto (PIB) agropecuario aumentó en 5.1%; lo mismo que las exportaciones, cuyo índice de crecimiento fue del 13.8%; y también el crédito para el sector, las inversiones y el gasto público en agricultura. El crecimiento de la agricultura antes señalado tuvo a comienzos de los 70 efectos en la demanda de tecnología y en la investigación que realizaba el ICA. Para responder a esta situación, en el periodo 1968-1976, el ICA incrementó paulatinamente los proyectos de investigación en todos sus programas, así como los ensayos y pruebas regionales, la multiplicación y certificación de semillas mejoradas, el desarrollo de nuevas variedades, la prevención y control sanitario, la supervisión y control de insumos, y el fomento a la actividad de los productores.

En el periodo 1980-1984, se establecieron viveros de recursos de germoplasma promisorios para poner al servicio de los productores de semilla material genético en estado de desarrollo; se establecieron también políticas de concertación con los demás sectores e instituciones que intervienen en el sector agropecuario, el intercambio científico internacional y la propuesta de elementos para planificar sus acciones en investigación y transferencia de tecnología. Se entregaron variedades de maíz y de frijol como el frijol-ica P11, con rendimientos superiores al 20% respecto de otras líneas comerciales. En investigación pecuaria, es digno resaltar la elaboración de la vacuna contra la estomatitis vesicular.

En 1990, se expidió la Ley de Ciencia y Tecnología, en la que se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Los años de 1990 a 1994 representaron un periodo de grandes cambios en la historia de la investigación

agropecuaria del país, pues fue un período de transición hacia el nuevo modelo institucional que llevó al ICA a una nueva reestructuración, la cual condujo a la separación de las actividades de investigación y transferencia de tecnología de aquellas relacionadas con la sanidad animal, vegetal y el control de los insumos agropecuarios.

Por tal motivo y en concordancia con las políticas de modernización del Estado, el ICA entregó su responsabilidad de la mayor parte de la investigación y transferencia de tecnología a la creada Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Esto implicó el traslado de proyectos, centros de investigación, maquinaria y equipos, presupuesto y un alto número de funcionarios.

En 1993, el ICA asumió la responsabilidad de ejercer acciones de sanidad agropecuaria y el control técnico de las importaciones, exportaciones, manufactura, comercialización y uso de insumos agropecuarios destinados a proteger la producción agropecuaria nacional, a minimizar los riesgos alimentarios y ambientales que provengan del empleo de los mismos, y a facilitar el acceso de los productos nacionales al mercado internacional [32].

EL PROGRAMA DE ESTUDIOS PARA GRADUADOS EN CIENCIAS AGRARIAS ICA - UNAL

En el año 1967 se estableció el Programa para Graduados en Ciencias Agrícolas ICA – Universidad Nacional de Colombia, conocido como PEG. Este Programa de estudios graduados fue posible gracias a la integración de los investigadores del ICA que contaban con el grado a nivel de PhD. en diferentes áreas de la investigación agrícola y pecuaria y la Universidad Nacional. Se establecieron principios de cooperación para lograr la integración de la enseñanza, la investigación y la extensión agrícola, en los cuales el PEG sería organizado y planeado por el ICA, mientras que la Universidad Nacional se encargaría de la dirección académica. Con ello, se logró la integración de las facultades de Ciencias Agropecuarias con las estaciones experimentales del ICA, con el fin de lograr el mejor

aprovechamiento de los recursos humanos y materiales de que disponían ambas instituciones y lograr así una mayor eficiencia en las áreas mencionadas, con miras al mejoramiento de la agricultura, la ganadería y el medio rural colombiano.

Este programa se desarrolló a nivel nacional entre los años 1967 y 1987, período en el cual se ofrecieron maestrías en: genética y mejoramiento, fisiología vegetal, fisiología de cultivos, producción de cultivos, tecnología de la producción agraria, fitopatología, entomología, nutrición animal, producción animal, patología, microbiología, medicina veterinaria preventiva, suelos; economía agrícola, desarrollo rural, ingeniería agrícola y riegos y drenajes. Durante el tiempo en el cual el PEG estuvo vigente se graduaron cerca de 700 profesionales en 17 campos de las ciencias agropecuarias.

Gracias al PEG, el país se benefició con un gran número de investigaciones orientadas a la búsqueda de conocimiento y de soluciones a los problemas sentidos por los productores nacionales. Fue una gran época, durante la cual los investigadores del ICA en asociación con los de la Universidad Nacional formaron a toda una generación de profesionales que todavía están prestando sus servicios a la sociedad [8].

CORPOICA

Es una corporación mixta, de derecho privado sin ánimo de lucro, creada por iniciativa del Gobierno Nacional con base en la Ley de Ciencia y Tecnología, y cuyo objetivo es fortalecer y reorientar la investigación y la transferencia de tecnología en el sector agropecuario, con la vinculación y participación de sector privado.

Su creación obedeció al proceso de modernización del Estado, cuando el gobierno colombiano reenfocó y reconsideró la investigación en el país, asignándole al Instituto Colombiano Agropecuario ICA las funciones relacionadas con sanidad, prevención, control y supervisión de insumos y registro de nuevos productos y a Corpoica la investigación y la transferencia

de tecnología agropecuarias, labor que desarrolla a partir de enero de 1994.

En el año 2008, Corpoica contaba con un equipo de 261 investigadores. De ellos 63 con título de Doctorado, 108 con Maestría y 89 profesionales. Por otra parte, con base en la experiencia del PEG, Corpoica ha creado la Escuela de Formación de Investigadores y Capacitación en Agricultura Tropical- EFICAT que ofrece programas de maestría y especialización en ciencias agropecuarias y prevé el ofrecimiento de programas de Doctorado en el futuro.

En relación con las áreas de investigación a cargo de la corporación, en esencia, ha asumido los campos que en esa materia eran responsabilidad del ICA. En la actualidad además le está dando un gran énfasis al tema de los biocombustibles (etanol, biodisel), logrando el establecimiento de plantas productoras tanto en el país como en el exterior. También investiga en cultivos transitorios, frutales, ganadería, hortalizas, pastos, cultivos permanentes, y raíces y tubérculos. En todos estos productos, Corpoica ha hecho grandes contribuciones a la productividad y la rentabilidad gracias a la entrega de nuevas semillas de variedades mejoradas y a soluciones ambientalmente sostenibles para los distintos sectores productivos del país. Asimismo, Corpoica se destaca por sus contribuciones en la investigación del control biológico de plagas y la generación de productos así como en el manejo orgánico de la nutrición vegetal [33].

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL - CIAT

El Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, localizado en Cali, busca que la ciencia agrícola satisfaga las necesidades específicas de los pequeños agricultores de América Latina y de las regiones tropicales del mundo.

Los principales aportes del Ciat se relacionan con cultivos como frijol, forrajes, yuca y frutas tropicales. El Ciat tiene presencia mundial con énfasis en estudios sobre suelos tropicales en África, América Latina, el Caribe y Asia [34].

IMPACTO DE LA INGENIERÍA EN LA AGRICULTURA

Desde la creación de las facultades de agronomía, Colombia ha recorrido un camino lleno de realizaciones y de progreso del sector agropecuario gracias a las contribuciones en el campo científico y experimental. La creación de instituciones públicas y privadas de investigación —orientadas por Ingenieros Agrónomos y con el concurso de investigadores básicamente provenientes de nuestras facultades de Agronomía e Ingeniería Agrícola— ha sido fundamental así como la capacitación de profesionales del agro a nivel de Maestría y Doctorado. En la actualidad, más de cien investigadores del sector agropecuario poseen título de Doctorado y cerca de 200 de Maestría. Aunque se ha registrado una disminución de los profesionales con posgrado en las instituciones de investigación, de otra parte ha aumentado su participación en las universidades y, por supuesto, en los programas universitarios de ciencias agrarias y afines.

De acuerdo con los datos del OCyT., hay 866 investigadores en el área de Tecnologías y Ciencias Agropecuarias. Sin embargo, es necesario notar que debido a que en los años recientes se ha disminuido el número de nuevos estudiantes que inicien posgrados en ciencias agropecuarias, la edad de los investigadores activos es un factor preocupante, ya que se vislumbra una escasez de investigadores especializados en el inmediato futuro. Es posible que los nuevos programas impulsados por Colciencias que tienen como meta la formación de 500 doctores anualmente durante los próximos años, sea la oportunidad para que jóvenes profesionales del sector agropecuario accedan a becas para lograr sus estudios de posgrado en el exterior o en los 3 programas doctorales que actualmente se ofrecen en el país.

En Colombia la participación en el sector de profesiones diferentes de otras áreas del conocimiento ha sido prácticamente marginal. No obstante, se debe destacar la participación de ingenieros químicos que han contribuido al desarrollo del conocimiento en materia de la nutrición de las plantas y el empleo de fertilizantes

químicos; de ingenieros mecánicos que han hecho sus aportes en el campo de la maquinaria agrícola para la preparación de los suelos, así como para los procesos de siembra, fertilización, manejo de problemas fitosanitarios, cosecha y poscosecha. También de ingenieros civiles e hidráulicos que han diseñado y puesto en operación sistemas de riego y drenaje.

Es necesario resaltar que el gran progreso de la agricultura en el mundo, lo cual ha permitido alimentar, vestir y calzar a una creciente población humana, ha sido posible no sólo gracias a los logros de la Revolución Verde, con los desarrollos de nuevas variedades más productivas y el empleo masivo de agroquímicos, sino además gracias a las innovaciones introducidas a la agricultura mediante la mecanización de la gran mayoría de las actividades, que hicieron posible la reducción de los costos de producción y el acceso a los alimentos a la mayoría de la población.

En el presente, la agricultura es responsable de proporcionar alimento a más de seis mil millones de seres humanos y, además, es el recurso inmediato para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, a través de los agrocombustibles. La agricultura, por lo tanto, es también actor fundamental en los esfuerzos para mitigar los efectos del cambio climático y el calentamiento global.

Ante estos retos y los recientes incrementos en los costos de los alimentos, la agricultura contemporánea necesita intensificar el empleo de conocimientos y tecnologías que la hagan más eficiente. Es necesaria una nueva revolución productiva que ponga al servicio de la agricultura los avances de la moderna biotecnología que permitirá la búsqueda de soluciones en materia de adaptación de las especies a situaciones extremas de suelo, químicas y climáticas, que permita proporcionar resistencia genética a problemas fitosanitarios. La biología moderna requiere del concurso de las ciencias computacionales para poder analizar e interpretar el inmenso caudal de datos provenientes desde los estudios genómicos. La ingeniería de sistemas, por lo tanto, será un actor fundamental en ese

propósito. Lo será a su vez la nanotecnología, razón por la cual se requiere que los físicos y matemáticos también sean convocados a unirse a las investigaciones que el sector agropecuario necesita.

En Colombia, el recurso hídrico es una de sus principales riquezas pero, a la vez, es también uno de los principales factores de riesgo y de siniestrabilidad. Las regiones tropicales están llamadas a ser las grandes proveedoras de alimentos y agrocombustibles, dada sus ventajas en cuanto a disponibilidad de energía solar durante todo el año, abundancia de recursos hídricos y grandes extensiones de tierra sin cultivar. Colombia, en los últimos años, ha demostrado su capacidad para producir etanol a partir de caña de azúcar y biodiesel a partir de la palma africana. Igualmente, podrá ser muy eficiente y competitiva en la producción de combustibles a partir del cultivo de algas. Además, podrá seguir siendo un productor creciente de alimentos para el consumo interno y para la exportación. No obstante, para que esa posibilidad se vuelva realidad, es necesario apoyar sostenidamente la investigación con el propósito de generar las innovaciones que hagan del sector agropecuario un sector altamente eficiente y competitivo.

El apoyo de los conocimientos de las ingenierías será fundamental para complementar las fortalezas en las ciencias biológicas. Es necesario desarrollar distritos de riego en las regiones en donde se necesita este factor tan importante; del mismo modo, se requiere de eficientes sistemas de drenaje en las regiones y los cultivos que así lo ameriten. Las ciencias computacionales se necesitan no sólo para consolidar la agricultura de precisión, sino también para complementar las investigaciones biológicas. Las telecomunicaciones pueden contribuir a que la asistencia técnica llegue a los sitios más remotos de la geografía nacional, pero además a que desde los satélites se apoye la agricultura de precisión. La nanotecnología podrá desarrollar los sistemas inteligentes para el manejo de plagas del suelo como las que afectan a la papa y otros tubérculos. La química debe ayudar a desarrollar los nuevos productos que encontremos en la gran biodi-

versidad de nuestros ecosistemas. La electrónica podría solucionar los retos de una cosecha selectiva para conservar la calidad aun empleando la mecanización de las cosechas; también a desarrollar los subproductos que en la actualidad se desperdician y a solucionar muchos problemas ambientales.

Aunque la participación del sector agrícola en el PIB nacional ha disminuido del 12% en 1990 al 9.5% en el 2005, el número de hectáreas cultivadas estimadas por su potencial es de 10.2 millones, con un uso actual equivalente solo al 39% aumentando, especialmente en áreas nuevas y con cultivos perennes como la palma africana y frutales, que equivalen a un crecimiento del 30% desde 1998.

De acuerdo con datos del DNP, el PIB agropecuario ha pasado de 18.9 billones de pesos en el año 2000 a 23.8 billones en el año 2008, correspondiente a una producción anual de 26 millones de toneladas.

LOS APORTES DE LOS ARTÍCULOS DEL DOSSIER “INGENIERÍA Y AGRO”

Cuatro artículos hacen parte del Dossier del presente número de la *Revista de Ingeniería*. No obstante, por sus características científicas se ha incluido otro artículo en la sección técnica, que es una contribución valiosa al objetivo de analizar las relaciones entre la Ingeniería y el Agro. No cabe duda que el ingenio humano ha sido el factor fundamental que hizo posible que el Homo sapiens, como especie dotada de inteligencia, pudiera sobrevivir y además adaptarse a todas las condiciones ambientales sobre la Tierra. Ese ingenio, que las instituciones educativas reconocen como la profesión de los ingenieros, ha sido condición sin la cual la agricultura no hubiera logrado los niveles de desarrollo, productividad y eficiencia que ha transformado una sociedad mayoritariamente rural, dedicada a producir alimentos, a una sociedad mayoritariamente urbana que depende cada vez de menos personas dedicadas a la agricultura para satisfacer sus necesidades.

Los autores Castellanos, Fonseca y Ramírez desde la Universidad Nacional, en su artículo “Retos de la in-

geniería para el desarrollo tecnológico de la agroindustria”, presentan el papel que ha jugado el sector académico y científico con el apoyo del gobierno nacional para analizar las cadenas productivas con mayor potencial en la producción agrícola nacional. Su análisis les permite concluir que existen problemas estructurales en muchas de ellas que requieren no sólo de diagnósticos acertados sino además de un cambio de actitud de los investigadores y muy particularmente desde las ingenierías, para hacer aportes que solucionen problemas distintos a los de la misma producción, tales como los relacionados con la comercialización y la industrialización. Con acierto, señalan temas como la trazabilidad, la normalización, los canales de acopio y distribución, la estandarización de procesos y los temas de la salud del consumidor y el medio ambiente. Igualmente advierten las ingenierías que están llamadas a hacer dichas contribuciones y los grupos de investigación que deben dedicarse a aportar soluciones innovadoras y no únicamente su fortalecimiento de acuerdo con indicadores de reconocimiento académico.

Por su parte, Oliveros y Sanz, en su artículo “Ingeniería y café en Colombia” hacen un resumen de las contribuciones generadas a través de proyectos de investigación de un grupo de profesionales altamente calificados y estudiantes de pregrado de las universidades colombianas, para resolver problemas que afectan a más de 600.000 familias dedicadas al cultivo del café. Son fundamentales los aportes en el tema de la cosecha del grano, dado que tradicionalmente se ha hecho a mano, empleando a miles de personas en una labor que no alcanza rendimientos significativos, debido a las dificultades de la topografía y a las limitaciones de la capacidad humana. Los estudios sobre tiempos y movimientos, propios de la ingeniería industrial, fueron realizados para entender el proceso de cosecha manual y para proponer una mejora que incrementa el rendimiento. Los proyectos para desarrollar equipos manuales y máquinas manuales con motores de alta eficiencia, con el fin de aumentar el rendimiento de la cosecha asistida o

de equipos autopropulsados, son propuestas desde la ingeniería que, muy seguramente junto a los demás desarrollos presentados por los autores, permitirán la sobrevivencia de la caficultura colombiana al impactar positivamente en la disminución de los costos de la cosecha que actualmente representan el 40% del total. Pero, indudablemente, la contribución más significativa presentada por los autores es la relacionada con el desarrollo del beneficio ecológico del café. El impacto de reducir el agua empleada en el beneficio del grano en Colombia en un 98% al pasar de 40 litros de agua por kilogramo de café a tan solo 0.6 litros, así como la integración de un proceso que normalmente se hace en 24 horas a tan solo un minuto, es de gran trascendencia y es una contribución de la ingeniería colombiana a una agricultura más eficiente y ecológicamente responsable que, además, se está exportando a los demás países productores de café.

En su artículo “Los retos del cambio global para el agro”, Ocampo contribuye al Dossier con una revisión actualizada de un tema de alcance global como es el cambio climático y sus efectos sobre la agricultura colombiana. Los efectos de este fenómeno son evidentes: particularmente en los dos últimos años, Colombia ha sido testigo de los desastres que el clima ha producido en toda su geografía y ha puesto en evidencia la falta de preparación para afrontar excesos de precipitación como los registrados y atribuidos al fenómeno climático conocido como “La Niña”. El agro colombiano sufrió daños incalculables que hicieron que el producto interno bruto agropecuario registrara crecimientos negativos. La explicación, al igual que para las variaciones ascendentes del costo de vida, se relacionó con la disminución de la oferta de alimentos. Propone la autora una estrategia para lograr la adaptación mediante procesos de gestión de riesgos que involucre los impactos, las actitudes ante el riesgo y la capacidad de adaptación. Igualmente, coincide con los autores del primer artículo en la importancia de la investigación para generar innovaciones en campos de la ingeniería para proporcionar información meteorológica que sirva para fomentar

la adopción de tecnologías que disminuyan la erosión de los suelos y el daño causado por los agentes patógenos y las plagas.

Los ingenieros Lizarazo y Alfonso hacen su aporte desde la ingeniería agrícola y civil en su artículo “Uso de la agricultura de precisión: Caso palma de aceite”. Presentan el empleo de tecnologías modernas que se conocen como agricultura de precisión, aplicadas a nivel nacional en el cultivo de la palma de aceite, sector de creciente importancia económica tanto para la producción de aceites para el consumo humano como de biodiesel para suplir la demanda de combustibles con menor impacto ambiental. La experiencia documentada muestra como la georeferenciación se constituye en una tecnología de impacto para la agricultura al reducir costos de establecimiento de las plantaciones, con incremento del 48% mayor en comparación con el trazado manual y operando de día y de noche con igual precisión. También señalan los autores el potencial de esta tecnología en el manejo de problemas fitosanitarios que, en el caso de la palma de aceite, son de gran importancia: debido a la gran extensión de los cultivos es fundamental tanto la detección temprana de los problemas como su delimitación para hacer más efectivos y económicos los tratamientos.

Sanz, Oliveros, Ramírez y Montoya hacen parte de la Sección Técnica, con su artículo “Equipo para el lavado ecológico del café con mucílago degradado con fermentación natural”. Los autores complementan las contribuciones de este grupo de investigación en búsqueda de soluciones prácticas sustentadas en la investigación científica rigurosa para entregarle a un sector productivo tan importante como el cafetero, una solución que les garantiza no sólo la eficiencia del procedimiento sino también la calidad del producto que se obtiene en su utilización. El comprobar una remoción del mucílago del café a nivel del 95% con un consumo específico de agua de tan solo 0.32 litros por kilogramo de café y con el mínimo daño mecánico de acuerdo con las normas, así como un reducido consumo de energía eléctrica, permite a los caficultores adoptar esta tecnología corriendo el mínimo ries-

go desde el punto de vista de la eficiencia del proceso y la calidad del producto obtenido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. M. Saxowsky. "Agriculture's Transition into the 21th Century". Presentado en: North Dakota State University, Fargo to the National Federation of Coffee Growers for the 60th anniversary of Cenicafe. Noviembre, 1998, (Copia digital) p. 8.
- [2] "Historia de la Agricultura". Profesor en Línea. Fecha de consulta: 20 de julio de 2011. Disponible en: <http://www.profesorenlinea.cl/universalhistoria/AgriculturaHistoria.htm>
- [3] "Las Civilizaciones Precolombinas". Webconferencia. Fecha de Consulta: 23 de julio de 2011. Disponible en: <http://www.webconferencia.net/civilizaciones/las-civilizaciones-precolombinas-285826.html>.
- [4] "Año Internacional de la Papa 2008". Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2009. Disponible en: <http://www.potato2008.org/es/index.html>
- [5] B.D. Mesa *Historia Natural del Maíz*. Medellín: Vieco y Cía., 1995, pp. 393.
- [6] G.G. Cadena, *El conocimiento al servicio del desarrollo sostenible. Ciencia y Agricultura Tropical para el Siglo XXI*. Cali: Feriva, 2009, pp.16-20.
- [7] *Reseña Histórica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín*. Oficina de Planeación. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Fecha de Consulta: 10 de Diciembre de 2009. Disponible en: <http://www.unalmed.edu.co/~planea/documentos/HistoriaUnalMed.pdf>.
- [8] G.G. Cadena "La Investigación Agrícola en Colombia en los últimos 75 años". Palmira, 14 de Noviembre de 2009. *Foro "Evaluación, Análisis y Prospectiva del Sector Agropecuario y Propuestas de candidatos a la Presidencia de La República" Celebración de los 75 Años de la Facultad de Agronomía de Palmira*. 2009.
- [9] S.G. Valenzuela, "Investigación y desarrollo cafetero". En: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. *50 años de Cenicafé. Conferencias Conmemorativas*. Manizales: Colorgráficas, 1990, pp. 3-8.
- [10] F. Suárez de Castro y G.A. Rodríguez. *Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia*. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Antares, Ltda., 1962.
- [11] Z. J. Castillo. "Mejoramiento genético del café en Colombia". En: *50 años de Cenicafé. Conferencias Conmemorativas*. Manizales: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Colorgráficas, 1990, pp. 46-52.
- [12] G.J. Cárdenas. "Desarrollos científicos de Cenicafé en la última década". En: *50 años de Cenicafé. Conferencias Conmemorativas*. Manizales: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Colorgráficas, 1990, pp. 238-242.
- [13] Z.J.Castillo y G.R. Moreno. *La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto*. Bogotá: Editolaser, 1988, p. 171.
- [14] P. A. Bustillo, E.R. Cárdenas, D.A. Villalba, P. Benavides, J. Orozco and F. J. Posada. "Desarrollo de un Programa de Manejo Integrado de la Broca del Café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia". (Presentado por los autores en 1996 a la Fundación Alejandro Angel Escobar). Chinchiná, Caldas: Cenicafé, 1998.
- [15] P.S. Baker. *La broca del café en Colombia. Informe final del proyecto MIP para el café*. Cali: DFID-Cenicafé-CABI Bioscience, Feriva, 1990.
- [16] P. Benavides, M.A. Cristancho, M. del P. Moncada, C. Góngora, R. Acuña. A.L. Gaitán, H. Posada, D. Villareal, D. Molina, J. Dominguez, J.C. Herrera, H.S. Aldwinckle, M. Yepes, G.G. Cadena. "Study of the genomes of *Coffea arabica*, its major insect pest the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, and its biological control agent *Beauveria bassiana*". En: *International Plant and Animal Genome Conference, 16*. 2008, Abstracts. Illumina, p. 29.
- [17] G. Roa, C. E. Oliveros, J. Álvarez, C. A. Ramírez, J. R. Sanz, J. R. Álvarez, M.T. Dávila, D. A. Zambrano, G. I. Puerta, V. Rodríguez. *Beneficio ecológico del café*. Chinchiná (Colombia): Cenicafé, 1999, ISBN 958-96554-3-2.
- [18] J. Vélez, E. Montoya, C.E. Oliveros. "Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café". *Boletín Técnico*, No 21, 1999, p. 91.
- [19] I.D. Aristizabal, C.E. Oliveros y F. Álvarez. "Cosecha mecánica del café mediante vibraciones multidireccionales". *Cenicafé*, Vol. 50, No.3, 1999, pp. 173-182.

- [20] I.D. Aristizabal, C.E. Oliveros y F. Álvarez. “Propiedades físico-mecánicas del árbol de café y su relación con la mecanización de la cosecha”. *Cenicafé*, Vol. 50, No. 4, 1999, pp. 313-326.
- [21] P.I. Campillo, J. Álvarez, C.E. Oliveros y F. Álvarez. “Cosecha de café utilizando un equipo de aspiración”. *Cenicafé*. Vol. 52, No. 3, 2001, pp. 185-194.
- [22] E.A. García, C.E. Oliveros, F. Álvarez y E.C. Montoya. “Cosecha de café mediante impacto a las ramas”. *Cenicafé*. Vol. 52, No. 4, 2001, pp. 231-248.
- [23] H.D. Londoño, C.E.T. Oliveros y M. A. S. Moreno. “Desarrollo de una herramienta manual para asistir la recolección del café en Colombia”. *Cenicafé*. Vol. 53, No. 2, 2002, pp. 93-105.
- [24] M.I. Farfán *Impacto económico de la investigación en café; el caso de la variedad Colombia*. Tesis MSc. Economía Universidad de los Andes, Bogotá. Ensayos Sobre Economía Cafetera 11 (14). pp.21-41. 1998.
- [25] L.G. Moreno. “Tabi: variedad de café de porte alto con resistencia a la roya”. *Avances Técnicos Cenicafé*. 8 p. 2002.
- [26] *Cenired*. Fecha de consulta: 4 de julio de 2011. Disponible en: <http://www.cenired.org.co/>
- [27] “Historia del establecimiento de Cenicaña”. Cenicaña. Fecha de consulta: 9 de julio de 2011. Disponible en: http://www.cenicana.org/quienes_somos/cenicana/historia.php
- [28] “Cenipalma cumplió veinte años de labores al servicio del desarrollo tecnológico del sector palmicultor colombiano”. Cenipalma. Fecha de consulta: 15 de julio de 2011. Disponible en: <http://www.cenipalma.org/es/taxonomy/term/2>.
- [29] Cenibanano. Fecha de consulta: 18 de julio de 2011. Disponible en: http://www.augura.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=36
- [30] Ceniflores. Fecha de consulta: 23 de julio de 2011. Disponible en: <http://www.ceniflores.org/tw/index.html>
- [31] Conif. Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.conif.org.co/>
- [32] “Historia y antecedentes”. ICA. Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2009. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/El-ICA/Historia.aspx>
- [33] Corpoica. Fecha de consulta: / de noviembre de 2009. Disponible en <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Default.asp>
- [34] “Nuestros Programas”. Ciat. Fecha de consulta: Julio 23 de 2011. Disponible en: http://webapp.ciat.cgiar.org/about_ciat/acerca/programas.htm