

CARTAMA, EL MÉTODO AL SERVICIO DE LA CALIDAD

Cartama: Method at the service of quality

Camilo Gómez, Ph.D.¹, David Álvarez, Ph.D.², Susan Saavedra³ y Ricardo Uribe⁴

1. Profesor asistente. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Contacto: gomez.ch@uniandes.edu.co
2. Profesor asistente. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Contacto: d.alvarezm@uniandes.edu.co
3. Analista de operaciones. Grupo Cartama. Contacto: ssaavedra@cartama.com.co
4. Gerente General. Grupo Cartama. Contacto: ricardouribe@cartama.com.co

Resumen

Colombia cuenta con una vocación agrícola que le ofrece grandes posibilidades de desarrollo en el contexto de finalización del conflicto armado. Sin embargo, dado que la agroindustria actual es un sector intensivo en conocimiento y tecnología, se precisan esfuerzos para que la ingeniería y la ciencia del país puedan contribuir a la competitividad global del agro colombiano. En este artículo revisamos el caso de éxito de Cartama, una productora y comercializadora internacional de aguacate Hass basados en una visita a sus instalaciones. A partir de dicha experiencia, identificamos oportunidades y retos en la intersección de la ingeniería y los negocios agroindustriales.

Palabras clave: Agricultura, aguacate, aguacate Hass, agro colombiano, agroindustria.

Abstract

Colombia has an agricultural tradition that offers significant development possibilities in the post-conflict era. However, given today's knowledge and technology intensive agroindustry, efforts are needed so that the country's engineering and science fields can contribute towards global competitiveness of Colombian agriculture. In this article, we review the success story of Cartama, an international Hass avocado producer and seller, based on a visit to their operation. From this experience, we identified opportunities and challenges at the intersection of engineering and agro-industrial ventures.

Key words: Agriculture, avocado, Hass avocado, Colombian agriculture, agroindustry.

Introducción

Este artículo es el resultado de una visita a un proyecto agroindustrial empresarial desde el punto de vista de la ingeniería, en el contexto de las oportunidades que ofrece el posconflicto colombiano. Se trata de Cartama, una compañía productora y comercializadora de aguacates, concentrada en el mercado internacional.

Cartama nació en el año 2000 respondiendo a una visión oportuna por parte de sus fundadores, empresarios con trayectoria en la agroindustria colombiana, para hacer una apuesta por un producto que tendría un gran auge en años venideros. El reto principal de la empresa era lograr producir aguacate Hass en zonas tropicales y montañosas; un contexto ajeno al conocimiento existente hasta ese momento para dicho producto. Lo anterior implicaría procesos intensos de experimentación y desarrollo para adaptar las prácticas existentes, buscando un producto que pudiera ser exitoso en términos de eficiencia y calidad para competir internacionalmente.

En 2018 la empresa espera cerrar con 6.432 ton vendidas, con un mercado concentrado en Inglaterra, Holanda y España. En estos mercados, el aguacate Hass de Cartama es presentado como un producto final de alta calidad que ha pasado por un complejo proceso de selección, empaque y maduración, con el objetivo de ofrecer constantemente en el mercado fruta apta para consumo inmediato a mediano y a largo plazo. El producto es recibido por parte de establecimientos y consumidores *conscientes* que buscan productos de origen con características y estándares de alta calidad en términos alimenticios y de producción. Cartama todavía no ha incursionado en la transformación de la fruta para obtener valor agregado, pero –sin duda– a futuro se convertirá en una de sus líneas estratégicas.

La empresa hoy cuenta con una operación amplia que incorpora, además de sus propias unidades productivas, 300 predios de pequeños, medianos y grandes productores que se adhieren al esquema de Cartama, que abarca todos los eslabones de su cadena de valor. Debido a su crecimiento, la calidad de su producto, y diversas certificaciones que dan cuenta de sus

estándares y buenas prácticas en variados aspectos, Cartama constituye un caso de éxito en el panorama agroindustrial nacional que vale la pena revisar en esta edición de la *Revista de Ingeniería*.

La segunda sección de este artículo busca destacar los esfuerzos de una empresa nacional por posicionarse en un mercado global a través de la experimentación metódica hacia la calidad. La tercera tiene como objetivo identificar oportunidades en las que desarrollos locales de ingeniería puedan agregar valor en el sector agroindustrial en diversos aspectos; adicionalmente, se plantea una reflexión sobre los retos del sector más allá de aspectos estrictamente de ingeniería, especialmente en cuanto a la necesidad de recurso humano altamente calificado y una política pública que esté en el mismo siglo que los retos tecnológicos que enfrenta y enfrentará el sector. La cuarta sección da cierre al artículo con algunas conclusiones generales.

Ingeniería en Cartama

Parte importante de la historia de Cartama radica en que, antes de dar el salto a ser grandes exportadores, trabajaron por más de nueve años a puerta cerrada llevando a cabo procesos sistemáticos de experimentación, apoyados en el conocimiento existente, pero recurriendo al ensayo y error, buscando la mejor forma de producir aguacate Hass en regiones tropicales y montañosas. Esto, además de demostrar un genuino interés por lograr una calidad excepcional, conlleva un esfuerzo y una inversión que no cualquier empresa está en capacidad de llevar a cabo. Es una tarea con todo el espíritu del método científico, que implica el involucramiento de personal técnico altamente calificado y la ejecución de numerosos ensayos, muchos de los cuales no conllevan a un retorno más allá de la lección de que *“así no se debía hacer”*. Tal disposición por buscar mejores maneras de hacer las cosas puede verse en varios aspectos de la operación de Cartama que revisaremos en este artículo. La ingeniería, en últimas, se trata de encontrar la mejor forma de pasar de una situación dada a una situación que se considera deseable, como evidencian casos como el de Cartama.

Atendiendo a una priorización de la calidad, Cartama hizo un esfuerzo por trabajar la cadena completa de valor buscando eficiencias e injerencia sobre todos los procesos. Así, la empresa cuenta con vivero y grupo de investigación propios, así como una red de unidades productivas (propias y de terceros), una planta de procesamiento y empaque para exportación, y comercialización en el exterior con Cartama UK en Inglaterra. A continuación se resumen algunos aspectos de su trabajo en cada eslabón.

a. Vivero y grupo de investigación Cartama

El vivero de Cartama es una iniciativa que le garantiza el autoabastecimiento de material vegetal suficiente y de calidad. Según personas de la empresa, no hay mucho que las etapas de cosecha y poscosecha puedan lograr para compensar productos provenientes de material vegetal de pobre calidad. Por esto, el vivero dedica cuantiosos esfuerzos por lograr material vegetal que potencie el producto en las demás etapas. Así, el trabajo del vivero se concentra en problemas como:

- Abastecer a la compañía con la cantidad suficiente de árboles.
- Proveer plantas bien nutridas para las condiciones específicas de la zona aguacatera colombiana, teniendo en cuenta las necesidades según los tipos de suelo, altura y factores climatológicos de cada una de sus unidades productivas.
- Producir plantas con sistema de raíces bien formado y sano, capaz de adaptarse rápidamente a las condiciones de campo.
- Llevar a campo plantas sanas y de alta productividad que garanticen el éxito del cultivo por muchos años.
- El diseño de mecanismos de manejo de plagas y enfermedades que sean limpios para el ambiente y los consumidores, con base en compuestos orgánicos, bio-controladores como entomopatógenos parasitoides y depredadores; esto, además de los beneficios que conlleva en sí mismo, responde a una exigencia de mercados internacionales, tanto a nivel de regulación como de preferencia de los consumidores.
- La incorporación de colmenas de abejas como estrategia para mejorar la productividad de los cultivos; estos insectos son clave en el proceso de polinización y producción de fruta. Lo anterior

es parte de un compromiso de responsabilidad ambiental, en el cual la empresa cuida y alimenta las abejas, evitando, por ejemplo, aspersiones foliares en los horarios en que ellas salen a polinizar.

- Dejar a un lado el concepto de fertilizar y avanzar hacia la nutrición; aportar los nutrientes que el cultivo de aguacate demanda en cada zona y en cada etapa de desarrollo.

De la mano con el trabajo en el vivero y en campo, Cartama ha impulsado la creación del grupo de investigación Cartama R+D (*Research and Development*), lo cual es, en sí mismo, muy dicente, pues formaliza la vocación de la empresa por generar valor a través de profundizar el conocimiento alrededor de su producto y su industria. A través de desarrollo científico, tanto básico como aplicado, buscan generar un impacto competitivo con la calidad y eficiencia en su producción. Actualmente, desarrollan proyectos en colaboración con instituciones nacionales e internacionales y hacen un llamado a la colaboración con más grupos en diversos campos, desde lo agronómico hasta interacciones con ingeniería y otras disciplinas.

b. Unidades Productivas

Como parte de nuestra interacción con Cartama, visitamos la Unidad Productiva El Sinaí, en zona rural de Anserma (Caldas). Lo primero a notar es cómo desde el lenguaje se busca generar una cultura alrededor de los procesos y la organización: se enfatiza en el personal el concepto de "Unidad Productiva" en lugar de "finca", y "Experto Hass" en lugar de "trabajador", alejándose de la connotación popular de los términos, asociados a recreación o informalidad (lo cual se refleja también en las condiciones de contratación, como se discute después).

Lo siguiente a destacar es cómo muchas decisiones se toman con base en evidencia, incluyendo pruebas sobre muestras del producto para conocer su estado preciso de desarrollo, como es el caso de pruebas de materia seca que permiten determinar el momento adecuado de cosecha para lograr el nivel de maduración deseado teniendo en cuenta los tiempos de procesamiento y transporte hasta puertos europeos. Igualmente, muchas decisiones están basadas en información de su estación meteorológica, y sistemas de información



En 2004, Cartama empezó con 14 ha sembradas, en la actualidad cuenta con más de 1.500 ha y proyecta tener 3.500 ha en 2023.

y trazabilidad que tienen disponibles para cultivos con numerosos lotes. Específicamente, vale la pena resaltar los sistemas de agricultura de precisión con los que cuentan los cultivos, contratados con una empresa nacional (*AgroLevels*) que provee servicios de fotos con vehículos aéreos no tripulados (comúnmente, *drones*) para inventarios de lotes, y sistemas de monitoreo satelital que permiten coordinar e inspeccionar actividades del cultivo desde el puesto de control central.

De la mano con estos procesos, Cartama invierte en el bienestar de su entorno a través de la capacitación a trabajadores y la asistencia técnica a pequeños agricultores (i.e., unidades productivas de terceros).

c. Distribución, planta de procesamiento y exportación

Nuestra visita incluyó la planta de selección, empaque y distribución en el Centro Logístico de Pereira, en donde los vehículos que provienen de las Unidades Productivas descargan su producción en plataformas de acceso dispuestas para garantizar inocuidad del producto y cumplir con estándares fitosanitarios nacionales e internacionales.

Posteriormente, se encuentra el procesamiento de la fruta, en el cual se da una colaboración de operarios y maquinaria: hay un proceso de inspección manual, seguido del lavado y clasificación automática por calibre de cada fruta. Al momento de la visita, la empresa contaba con una máquina clasificadora de origen italiano marca *SERMAC* de dos líneas con capacidad para 8 ton/hora que, al momento de la publicación, ha sido reemplazada por una clasificadora Española *Maf-Roda* de 4 vías con capacidad de 18 toneladas por hora y con empacadoras automáticas para canastillas de 10 kg y mesas de confección para empaque de 4 kg, ofreciendo la posibilidad de seleccionar cada fruta según el calibre, además de poder detectar anomalías basándose en sensores ópticos. Para la incorporación de dicha máquina fue necesaria la ejecución de obras civiles en la planta, con el involucramiento de la propia empresa, pues es crucial que el diseño de planta responda a sus necesidades como empresa creciente.

Los procesos de alistamiento y almacenamiento son altamente estandarizados, combinando buenas prácticas y la adquisición de los últimos desarrollos de la industria de automatización, evitando así operaciones manuales e ineficientes que puedan llegar a retrasar

los tiempos de entrega. Se apoyan en una máquina armadora de cajas de cartón (FOCA2000, de la casa Cosmapack™ con capacidad de armar 2.000 cajas por hora) y el uso de cuadrillas de operarios para el paletizado, zunchado, aseguramiento y traslado de la mercancía a las bahías de despacho o cuartos fríos para su transporte o almacenamiento. Además de esto, se cuenta con un sistema de túneles refrigerados y cuartos fríos para mantener estable la temperatura de la fruta –una variable crítica para garantizar un producto adecuado en el mercado final– y tener márgenes de tiempo para alcanzar los momentos de transferencia de la fruta debido a los largos e inciertos tiempos de transporte terrestre (en contenedores refrigerados) hacia el puerto.

Una de las características más importantes de los procesos de Cartama es la trazabilidad. Mediante un software desarrollado por la empresa, es posible determinar de qué lote y Unidad Productiva proviene la canastilla de fruta que viaja en determinado contenedor; qué tratamiento tuvo en cultivo o poscosecha, o bajo qué condiciones y por cuánto tiempo estuvo almacenada. Lo anterior permite un valioso sistema de información transparente con productores y clientes. Por ejemplo, es

posible proveer retroalimentación y recomendaciones a productores puntuales si se reporta algún defecto o inconveniente con su producto. Igualmente, al momento de recibir el producto en planta, es posible generar un reporte automático que notifica al productor qué porcentaje de su carga fue clasificada como producto *Premium*, qué porcentaje cae en una segunda categoría, qué porcentaje fue a mercado nacional, y qué porcentaje constituyó descarte. En este punto es notable la necesidad de un vínculo de confianza entre Cartama y los productores, por lo cual la empresa se ha esforzado en construir procesos transparentes y prácticas éticas, reconociendo la importancia de dichas relaciones para el éxito del negocio.

Uno de los elementos centrales en la planta y en la operación de Cartama en general, es la exitosa adopción de procesos sistemáticos por parte de su personal. El arraigo de buenas prácticas y estándares en la cultura organizacional es un factor clave de su éxito y los ha hecho acreedores de importantes certificaciones a nivel internacional. Lo anterior es, en sí mismo, un logro de la ingeniería, pues ésta no se limita a la instalación de dispositivos físicos, sino que incluye intangibles valiosos como la implementación de metodologías y buenas



Cartama invierte en el bienestar de su entorno a través de la capacitación a trabajadores y la asistencia técnica a pequeños agricultores.

prácticas que interactúen de forma eficiente y eficaz con los dispositivos.

d. Cartama como líder en su entorno

En la operación de Cartama se recurre a ingeniería nacional en sus procesos, a excepción de la máquina seleccionadora y la máquina armadora de cajas. Esto es muestra de su compromiso con el desarrollo de la industria nacional a través del impulso a proveedores y recurso humano colombiano altamente calificado (e.g., *AgroLevels* para agricultura de precisión). Asimismo, el personal en campo es contratado con todas las condiciones laborales estipuladas por la ley; si bien esto es lo apenas correcto, es digno de reconocimiento en un entorno en el que la práctica común es contratar bajo la modalidad de jornal. Adicionalmente, como parte de su operación, Cartama se encarga de la capacitación de sus empleados, particularmente en campo, buscando que la calidad y las buenas prácticas se consoliden desde las bases mismas de la operación. Por último, y como se discute en la sección final de este artículo, Cartama apuesta por relaciones 'gana-gana' con los pequeños y medianos productores con los que se asocia, compartiendo no solo el riesgo del negocio, sino en vías de generar valor compartido e impulsando el desarrollo

regional, a través de una cadena de suministro enfocada en productos con el mayor estándar de calidad.

Ingeniería en la agroindustria colombiana del siglo XXI

La agroindustria es un ejemplo apropiado de lo que es un sistema complejo, pues relaciona procesos biológicos, físicos, organizacionales y económicos, entre otros, en los cuales *el todo* no se explica llanamente como la suma de las partes (Meadows et al. 1992; Johnson, 2009). Así, es difícil anticipar el efecto aislado de un instrumento financiero, un desarrollo agronómico, logístico, o una expansión en infraestructura, en la dinámica global del sistema. Por esta razón, en adición a su relevancia práctica, la agroindustria plantea problemas cuyo abordaje implica la articulación de varias ingenierías y otros saberes (van Mil et al., 2014).

a. Ingeniería para los procesos físicos

Áreas como la instrumentación y el control se han aplicado tradicionalmente en la cadena de suministro (e.g., refrigeración y clasificación), pero pueden ser más atractivas en la medida en que se adopten procesos



En el procesamiento del aguacate intervienen operarios y maquinaria: hay un proceso de inspección manual, seguido del lavado, y clasificación automática por calibre de cada fruta.



Árboles de aguacate previos a siembra.

más complejos (e.g., poscosecha orientada a productos de valor agregado) con requerimientos de calidad más rigurosos (Nikolidakis et al., 2015). Es posible, a través de variados tipos de sensores y actuadores, medir y manipular con precisión variables físicas relevantes (e.g., temperatura, humedad, presión, pH, concentraciones). Así, desarrollos tecnológicos nacionales pueden apoyar la ingeniería de alimentos para generar productos precisamente diseñados con características de sabor, aroma, entre otros, con elementos diferenciadores de origen para el mercado.

Igualmente, hay cabida para desarrollos en mecanización y automatización en actividades como la recolección, transporte y almacenamiento de productos (Bac et al. 2014), además de eventuales procesos industriales en productos de valor agregado. Sin embargo, es importante evaluar el costo y beneficio de estos desarrollos en el contexto nacional. En muchos casos, dada la topografía, resulta más eficiente la mano de obra humana frente a costosas alternativas de automatización cuyo resultado puede no ser robusto. Adicionalmente, parte del reto del posconflicto está en generar alternativas

de transición a la legalidad para actores del conflicto que no han tenido oportunidades de formación para el trabajo. En síntesis, como con cualquier tecnología, no se trata de implementar por implementar, sino de evaluar los beneficios a la luz de posibles consecuencias indeseadas, como es el caso de la vulnerabilidad social.

b. Ingeniería para la toma de decisiones

Desde la ingeniería industrial, las ciencias de administración y matemáticas aplicadas, una oportunidad directa radica en el acompañamiento en diseño de experimentos desde el punto de vista estadístico, que, incidentalmente, se originó en aplicaciones agronómicas (Street, 1990). Del mismo modo, toda la cadena de valor puede verse beneficiada por sistemas de apoyo a la decisión basados en evidencia (Navarro-Hellín et al. 2016), aprovechando la disponibilidad de medios para obtener datos relevantes (recolección por parte de trabajadores y sensores en cultivos, datos de planta, sistemas de información geográfica y atmosférica, información del mercado). Estas decisiones pueden estar orientadas a refinar mejores prácticas en procesos de nutrición, control



de plagas, siembra, poda, recolección, logística, y para eventuales productos de valor agregado (Pham & Stack 2018).

Un ejemplo de desafío en el sector puede verse en el problema de planeación colectiva de la producción para un conjunto de unidades productivas, bajo incertidumbre, respecto a rendimientos, demanda, y precios futuros, dependientes de factores complejos. Sería deseable lograr una planeación que balancee la rentabilidad y el riesgo, lo cual implica desarrollar modelos que: primero, representen adecuadamente las dinámicas de los cultivos; segundo, caractericen la incertidumbre de variables futuras y permitan pronósticos razonables; y tercero, permitan encontrar las mejores alternativas de decisión. Esta articulación de modelos descriptivos, predictivos y prescriptivos es la base de la inteligencia analítica (*soft*) que permite sacar provecho de los dispositivos como sensores y actuadores (*hard*) en el contexto de agricultura de precisión. Al respecto tienen cabida las técnicas tradicionales de probabilidad, estadística y optimización, así como técnicas más novedosas y disruptivas relacionadas con diferentes

paradigmas de aprendizaje computacional (Murase, 2000; Liakos et al., 2018; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018; Zhu et al. 2018).

c. Ingeniería en la era de la información y las comunicaciones

La competitividad de las empresas agroindustriales del país depende en gran medida del diseño y operación de esquemas logísticos eficientes, soportados en sistemas adecuados de infraestructura física. No obstante, mientras Colombia debe hacer sacrificios para perseguir una red vial digna del siglo veinte, los países desarrollados se adentran en las posibilidades del siglo veintiuno. Grandes compañías, como *Amazon* o *AliExpress*, explotan el uso de vehículos eléctricos y autónomos en su operación, y no solo en materia de pequeños “*drones*” sino de automóviles y vehículos de carga, como el camión eléctrico de *Tesla*. Estos desarrollos, sin embargo, no son la única forma de incorporar tecnología en las operaciones logísticas. Conceptos como el de “*Internet Físico*” (Yao, 2017; Serpanos, 2018) buscan emular la dinámica ágil de las redes de telecomunicaciones en sistemas de distribución de bienes físicos. Su objetivo es

lograr cadenas de suministro eficientes desde el punto de vista económico, ambiental y social, valiéndose de la interconectividad digital y operacional que permiten los dispositivos actuales, en el marco del Internet de las Cosas (Mitton & Simplot-Ryl, 2011). De este modo, aunque parezca una tarea titánica, la apuesta de Colombia debe ser por dar un salto, no de una, sino de dos generaciones en infraestructura de transporte y telecomunicaciones, así como de regulación alrededor de las mismas, pues mucho de la novedad está en la flexibilidad y rapidez con la que evolucionan los modelos de negocio. De lo contrario, la brecha de competitividad del país se puede profundizar peligrosamente, comprometiendo el potencial que le ofrece su también vulnerable biodiversidad.

En una línea similar, es importante identificar y capitalizar fenómenos propios de una economía cada vez más mediada por la tecnología (MacLeod et al., 1997; Alston & Pardey 2014). El auge de las economías colaborativas tipo *Uber* o *AirBnB* abarca cada vez más sectores y genera dinámicas diferentes según el contexto socioeconómico. En Colombia ya existen

empresarios como *Frubana*, *Correcaminos* (*Uber*® de carga), *WeLog* (plataforma para fletes) que, además de proporcionar servicio de entrega de productos agrícolas, buscan conectar pequeños productores con pequeños consumidores, eliminando intermediarios y ofreciendo alternativas frente a las cadenas de supermercados ("grandes superficies") que, con frecuencia, resultan inconvenientes para los productores. Igualmente, estas tecnologías han empezado a permear los sectores de crédito y seguros (Tasca et al., 2016), en los cuales puede haber oportunidades para productores agrícolas que requieren capital y pólizas de acuerdo a necesidades muy particulares de sus negocios. Por último, además de la dinámica que introducen las aplicaciones móviles, se viene consolidando el uso de mecanismos tipo *blockchain* que permiten hacer transacciones ágiles y confiables a través de registros distribuidos inmutables; por ejemplo, esquemas de pago contra entrega, o pagos sujetos a contingencias, pueden llevarse a modalidad de *contratos inteligentes* en los que ambas partes confían en el cumplimiento del otro, puesto que queda automatizado. En un contexto cultural y normativo que, como el colombiano, presume desconfianza, son valiosos

Cartama nació en el año 2000 con el reto de producir aguacate Hass en zonas tropicales y montañosas de Colombia.



los instrumentos potencien la cooperatividad y sus beneficios (Carpenter & Cardenas, 2011); por ejemplo, compartir riesgos entre actores de diferentes eslabones de la cadena según condiciones pre-especificadas y corroboradas por sistemas de trazabilidad existentes.

d. Ingeniería y aspectos sociales y de política pública

Además de los elementos anteriores, cabe destacar el papel de la ingeniería en sectores afines que potencian el desarrollo agrícola, como es el caso de diseño y evaluación de políticas agrarias, o el desarrollo de proyectos adecuados de infraestructura (e.g., el desarrollo de vías terciarias, tema antes tratado en la *Revista de Ingeniería*). Por ejemplo, desarrollos técnicos orientados a mejoras en orden público pueden impactar positivamente empresas exportadoras que ven afectada su operación por la delincuencia y el narcotráfico (e.g., protecciones extra, demoras en puertos). Así, es claro que los retos en ingeniería incluyen algunos aspectos muy específicos del sector, pero abarcan mucho más. Si bien los casos de éxito que observamos dan cuenta de la posibilidad de progresar a pesar del conflicto y ausencia del Estado, los retos descritos evidencian una necesidad en términos de política pública, no solo en materia agrícola, sino en diversos sectores que transversalmente afectan la competitividad, como es el caso de la tenencia de tierras (causa de graves conflictos sociales), tema igualmente tratado previamente en la *Revista de Ingeniería* a través de la posibilidad de registro mediante un catastro moderno.

La agroindustria es, cada vez más, un sector intensivo en conocimiento en el que la alta tecnología hace la diferencia. Sin embargo, es importante reconocer que los factores que pueden conducir a dichos éxitos aún están lejos de ser universales o democráticos, precisamente por ausencia de Estado en la provisión de bienes públicos esenciales. Específicamente, si se plantea el agro como alternativa de desarrollo y progreso económico y social y, además, se reconoce que es una actividad intensiva en conocimiento y tecnología, es necesario democratizar el acceso a dichos factores (Mountjoy, 2007). Por ejemplo, no es posible una agroindustria centrada en el conocimiento sin acceso a: educación, ciencia y tecnología; un aparato logístico competitivo; asistencia técnica especializada; instrumentos financieros adecuados; una fuerza pública y justicia oportunas y transparentes. Más que ayudas directas o subsidios, la necesidad de política pública

apunta a justicia y bienes públicos esenciales. En la medida en que se derriben obstáculos frente a estos factores, podremos pasar de contar unos cuantos casos de éxito a observar tendencias más amplias.

Cartama parece entender estas dinámicas, pues más allá de la noción de valor compartido, establece relaciones justas con los pequeños y medianos productores con los que se asocia, permitiéndoles accesos a factores (como los antes descritos) que de otra forma no tendrían. Así, ratifican su apuesta por el desarrollo del país a través de negocios agroindustriales intensivos en conocimiento y tecnología.

Conclusiones

En este artículo revisamos el caso de éxito de Cartama, una productora y comercializadora internacional de aguacate Hass a partir de una visita a sus instalaciones.

Además de resaltar el papel del pensamiento científico y de ingeniería en la operación de Cartama, proveemos algunas oportunidades y retos de la ingeniería en la agroindustria del futuro, teniendo en cuenta las tendencias tecnológicas actuales. Asimismo, reconocemos el carácter complejo de los negocios agroindustriales y ofrecemos algunas reflexiones sobre cómo la ingeniería no puede desligarse de aspectos sociales y de política pública: por una parte, los bienes públicos y regulaciones deben potenciar (más que limitar) las posibilidades técnicas y tecnológicas; por otra parte, los desarrollos de ingeniería no deben ser caprichos técnicos ni mecanismos que profundicen la desigualdad, sino factores que generen beneficios amplios en términos económicos, sociales y ambientales.

Por último, al reconocer la complejidad e interdisciplinariedad de los problemas agroindustriales, se evidencia la enorme necesidad de talento humano en agronomía, negocios, y especialmente en ingeniería, entre otras áreas. No obstante, para que dicho potencial humano empiece a desplazarse a este sector, es necesario que el campo deje de ser epicentro de necesidades básicas insatisfechas, marginación tecnológica y violencia sistemática, aun después de la firma y frágil implementación de los acuerdos para la terminación definitiva del conflicto de 2016. ●

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Nikolidakis, S., Kandris, D., Vergados, D., & Douligeris, C. (2015). Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 154-163.
- Bac, C., Henten, E., Hemming, J., & Edan, Y. (2014). Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. *Journal of Field Robotics*, 31(6), 888-911.
- Auat Cheein, F., Torres-Torriti, M., Hopfenblatt, N., Prado, A., & Calabi, D. (2017). Agricultural service unit motion planning under harvesting scheduling and terrain constraints. *Journal of Field Robotics*, 34(8), 1531-1542.
- Pham, X., & Stack, M. (2018). How data analytics is transforming agriculture. *Business Horizons*, 61(1), 125-133.
- Street, D. (1990). Fisher's Contributions to Agricultural Statistics. *Biometrics*, 46(4), 937-945.
- Navarro-Hellín, H., Martínez-del-Rincon, J., Domingo-Miguel, R., Soto-Valles, F., & Torres-Sánchez, R. (2016). A decision support system for managing irrigation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 121-131.
- Liakos, K., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors (basel, Switzerland)*, 18(8).
- Pantazi, X., Moshou, D., Alexandridis, T., Whetton, R., & Mouazen, A. (2016). Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 57-65.
- Shafaei, S., Nourmohamadi-Moghadami, A., & Kamgar, S. (2016). Development of artificial intelligence based systems for prediction of hydration characteristics of wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, 34-45.
- Behmann, J., Mahlein, A., Rumpf, T., Römer, C., & Plümer, L. (2015). A review of advanced machine learning methods for the detection of biotic stress in precision crop protection. *Precision Agriculture : An International Journal on Advances in Precision Agriculture*, 16(3), 239-260.
- Murase, H. (2000). Artificial intelligence in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 29(1), 1-2.
- Patrício, D., & Rieder, R. (2018). Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 69-81.
- Lin, Y., Petway, J., & Settle, J. (2017). Train artificial intelligence to be fair to farming. *Nature*, 552(7685), 334-334.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
- Zhu, N., Liu, X., Liu, Z., Hu, K., Wang, Y., Tan, J., Guo, Y. (2018). Deep learning for smart agriculture: Concepts, tools, applications, and opportunities. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 21-28.
- Moskvin, G. (1998). Artificial intelligence measuring, automatic control and expert systems in agriculture. *Ifac Proceedings Volumes*, 31(5), 163-167.
- Grinblat, G., Uzal, L., Larese, M., & Granitto, P. (2016). Deep learning for plant identification using vein morphological patterns. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 418-424.
- Mitton, N., & Simplot-Ryl, D. (2011). From the internet of things to the internet of the physical world. *Comptes Rendus - Physique*, 12(7), 669-674.
- Verdouw, C., Beulens, A., & Vorst, V. (2013). Virtualisation of floricultural supply chains: A review from an internet of things perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99(1), 160-175.
- Serpanos, D. (2018). The cyber-physical systems revolution. *Computer*, 51(3).
- Yao, J. (2017). Optimisation of one-stop delivery scheduling in online shopping based on the physical internet. *International Journal of Production Research*, 55(2), 358-376.
- Sallez, Y., Pan, S., Montreuil, B., Berger, T., & Ballot, E. (2016). On the activeness of intelligent physical internet containers. *Computers in Industry*, 81, 96-104.
- Donella H. Meadows [and others]. (1972). *The Limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books.
- Johnson, N. F. (2009). *Simply complexity: A clear guide to complexity theory*. Oxford: Oneworld.
- H.G.J. van Mil, E.A. Foegeding, E.J. Windhab, N. Perrot, E. van der Linden, A complex system approach to address world challenges in food and agriculture, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 40, Issue 1, 2014, Pages 20-32, ISSN 0924-2244.
- Casado-Vara, R., Prieto, J., La Prieta, F., & Corchado, J. (2018). How blockchain improves the supply chain: Case study alimentary supply chain. *Procedia Computer Science*, 134, 393-398.
- Manski, S., & Manski, B. (2018). No gods, no masters, no coders? The future of sovereignty in a blockchain world. *Law and Critique*, 29(2), 151-162.

