

**Automatización robótica de las líneas de producción: una evaluación de su
contribución y desafíos en el empleo de la industria vallecaucana**

Kebin Guerrero Martínez

Asesor

Fausto Miguel Castro Caicedo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

Resumen

El presente trabajo tiene como fin exponer las contribuciones e implicaciones de la automatización robótica en las líneas de producción de la industria del Valle del Cauca, tomando en cuenta las tres industrias con mayor impacto económico en la región (Industria azucarera, del papel y Agroindustria); para ello se analizan factores claves como: la productividad, la sostenibilidad, y las oportunidades y/o desafíos en aspectos socioeconómicos, las cuales impactan directamente en la fuerza laboral y la calidad del empleo. Esta investigación fue realizada tomando como base información publicada por las respectivas industrias y los ministerios competentes, así mismo como diferentes referentes bibliográficos que respaldan la tesis de este. Como conclusión se identificó que, aunque si bien es cierto que la implementación de la automatización mejora la productividad de las empresas; indicadores como ambientales y empleo están siendo afectados debido a la explotación de recursos y la desvinculación o reubicación laboral a causa de la desaparición de puestos laborales, respectivamente. En contexto de lo anterior, la necesidad de fortalecer leyes laborales en pro de la recualificación profesional debe ser mayor, de modo que se favorezca una adaptabilidad integral a las demandas cambiantes del mercado.

Palabras clave: Automatización Industrial, Productividad, Fuerza Laboral, Adaptación Laboral

Abstract

This study aims to present the contributions and implications of robotic automation in production lines within the Valle del Cauca industry, focusing on the three industries with the greatest economic impact in the region: the sugar, paper, and agro-industrial industries. To achieve this, key factors such as productivity, sustainability, and socio-economic challenges are analyzed, which directly affect the workforce and the quality of employment. This research is based on information published by the respective industries and relevant ministries, as well as various bibliographic sources that support the thesis. The conclusion drawn is that, while the implementation of automation improves company productivity, indicators such as environmental impact and employment are being affected due to resource exploitation and the displacement or reallocation of workers caused by the disappearance of job positions, respectively. In light of the above, there is a greater need to strengthen labor laws and professional retraining programs, in order to promote holistic adaptability to the changing demands of the market.

Keywords: Industrial Automation, Productivity, Workforce, Labor Adaptation

Tabla de Contenido

Introducción	8
Justificación.....	10
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
Marco Teórico	12
Teoría de la Automatización Industrial (Industria 4.0).....	12
La pirámide de la automatización (CIM)	12
Agricultura de precisión	14
Monitoreo en tiempo real	15
Reconvención laboral.....	15
Caldera de biomasa	15
Biomasa.....	16
Interfaz	16
Imbibición	16
Maceración	17
Procesos de Automatización Robótica Comúnmente Aplicados en las Líneas de Producción de la Industria Vallecaucana	18
Industria azucarera	19
Industria del papel	23
Producción agroindustrial.....	29
Estado Actual de la Automatización Robótica en las Líneas de Producción de la Industria Vallecaucana por Medio de la Comparación de sus Principales Indicadores.....	33

Industria azucarera	34
Industria del papel	39
Agroindustria.....	45
Desafíos en la Adaptación de la Fuerza Laboral Ante la Automatización Robótica en las Líneas de Producción Vallecaucana Tomando Como Base las Políticas y los Programas de Formación y Capacitación.....	51
Industria azucarera	52
Industria del papel	53
Agroindustrial.....	55
Conclusiones	59
Recomendaciones	61
Referencias Bibliográficas.....	62

Lista Tablas

Tabla 1. <i>Factores por Resaltar en los Indicadores</i>	50
---	-----------

Lista de figuras

Figura 1 <i>Pirámide de la Automatización</i>	13
Figura 2 <i>Proceso de Producción Azucarera</i>	20
Figura 3 <i>Porcentaje de Automatización Ingenio Sancarlos</i>	21
Figura 4 <i>Proceso de Producción de Pape</i>	24
Figura 5 <i>Motor NEMA</i>	27
Figura 6 <i>Variadores de Velocidad SINAMICS</i>	28
Figura 7 <i>Fases de la Agricultura de Precisión</i>	30
Figura 8 <i>Indicadores Ambientales y de Inversión en Investigación</i>	38
Figura 9 <i>Cogeneración y Excedentes</i>	39
Figura 10 <i>Impacto en los Recursos Naturales</i>	41
Figura 11 <i>Captación de Agua entre 2010 y 2020</i>	43
Figura 12 <i>Vertimiento de Agua Entre 2010 y 2020</i>	44
Figura 13 <i>Porcentaje Población Ocupada, Según Ramas de Actividad</i>	48

Introducción

La automatización de procesos se realiza en las industrias con el fin de encontrar los mayores beneficios en la relación Tiempo-Costos-Calidad, ya que estos son los aspectos determinantes en producción para generar crecimiento y competitividad en el mercado (Acharya et al., 2018), en esencia se busca disminuir tiempos de producción, evitando reprocesos, imperfecciones, etc., así mismo como disminuir el desperdicio de materia prima por malas prácticas, y elaborar un producto terminado que cumpla con los requisitos internos de alta calidad, para contribuir en resultados económicamente positivos al interior de la empresa.

Es por lo anterior, que las empresas industriales y agroindustriales invierten en tecnologías, automatizando procesos, generalmente dentro de su línea de producción; sin embargo, esto representa reducción en la intervención humana durante los procesos, llevando a la reubicación laboral de los mismos o incluso recortes de personal, contribuyendo al aumento en la tasa de desempleo.

Para un país como Colombia, el cual es considerado potencia agrícola mundial, la inversión en tecnología es imprescindible para poder adaptarse eficientemente a las necesidades del mercado. En regiones como en el pacífico, específicamente en el Valle del Cauca, se genera mayor inversión, debido a que esta es considerada la región con mayor relevancia para la agroindustria en Colombia, dada su vocación agrícola (invest pacific., 2023), esta inversión impacta dos aspectos, por un lado de acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022) para el año 2022 la industria manufacturera represento el 10,5% de crecimiento en su participación en el PIB (Producto Interno Bruto), lo que indica mayor impacto en el mercado; y por otro lado esta inversión ha influido en el aumento de tasa de desempleo,

debido a la eliminación de puestos de trabajo que no son necesarios durante el proceso automatizado.

En consecuencia, surge la necesidad de conocer la contribución que tiene la automatización robótica de las líneas de producción en la industria vallecaucana, en términos de eficiencia y productividad, tomando en cuenta los desafíos relacionados con la capacitación de la fuerza laboral y la calidad del empleo.

Justificación

Este trabajo se basó en la necesidad de comprender los efectos de la automatización en la industria del Valle del Cauca, abarcando temas como la sostenibilidad, la capacidad adaptativa a las nuevas tecnologías, el impacto socioeconómico y algunos avances implementados en las principales industrias de la región. Investigaciones previas señalan que, si bien la automatización puede conducir a mejoras significativas en la eficiencia y la competitividad de las empresas, también puede resultar en la pérdida de empleos tradicionales y la necesidad de una reestructuración laboral (Rubbi et al., n.d.). Por lo tanto, fue esencial realizar un análisis de la contribución y los desafíos de la automatización robótica de procesos en la industria vallecaucana para informar políticas y estrategias que promuevan un desarrollo económico equitativo y sostenible en la región.

Este documento se apoyó en investigaciones anteriores y enfatiza la importancia de abordar las implicaciones de la automatización robótica de procesos en la industria del Valle del Cauca, teniendo en cuenta que esta nueva revolución industrial va encaminada al uso adecuado de la información y al análisis de datos para toma decisiones importantes, como por ejemplo la renovación de máquinas, el mejoramiento de la calidad del producto y hasta la trazabilidad de este.(Goñi, 2019)

Objetivos

Objetivo General

Exponer la contribución de la automatización robótica de las líneas de producción en la industria vallecaucana, teniendo en cuenta la eficiencia, productividad y los desafíos relacionados con la capacitación de la fuerza laboral y la calidad del empleo.

Objetivos Específicos

Análisis de los procesos de automatización robótica, comúnmente aplicados en las líneas de producción de la industria Vallecaucana.

Indicar el estado actual de la automatización robótica en las líneas de producción de la industria vallecaucana, mediante la comparación de indicadores (empleabilidad, económico, ambientales, tecnológicos) pre y post implementación de sistemas automatizados.

Identificar los desafíos relacionados con la adaptación de la fuerza laboral a la automatización robótica de las líneas de producción, analizando las políticas y programas de formación y capacitación disponibles en la región.

Marco Teórico

La Automatización Robótica de Procesos (ARP) ha emergido como una herramienta clave en la búsqueda de mejorar la eficiencia y la productividad en las industrias alrededor del mundo. En el contexto específico de la industria vallecaucana, esta tecnología presenta tanto oportunidades como desafíos significativos en términos de empleo y desarrollo económico. Para comprender mejor estos aspectos, es crucial explorar diversas teorías y enfoques relacionados con la automatización, el mercado laboral y la economía regional.

Teoría de la Automatización Industrial (Industria 4.0)

La automatización industrial se refiere al uso de sistemas controlados por computadora para manejar tareas y procesos que anteriormente eran realizados por seres humanos, es decir, toda empresa industrial busca la eficiencia económica y productiva para ser sostenible en el mundo actual, lo que ha originado que los procesos de manufactura evolucionen a la denominada cuarta revolución industrial, llamada Industria 4.0. Esta Industria 4.0 requiere la conexión de la instrumentación industrial con las áreas de la empresa mediante niveles jerárquicos que permiten su automatización, para esto, la Industria 4.0 ha establecido el concepto de pirámide de automatización (López & Velasteguí, 2021).

La pirámide de la Automatización (CIM)

(Computer Integral Manufacturing). Es una forma gráfica que busca resumir la estructura de los sistemas de comunicación de un entorno productivos, según Rodríguez (2013) en su libro sistemas SCADA 3ª, la pirámide se divide en niveles, según el tráfico y tipo de información que se intercambia. Ver Figura 1.

Figura 1*Pirámide de la Automatización*

Nota. Niveles jerárquicos de control y supervisión de un sistema de producción automatizado.

Tomado de. La automatización Industrial, Movicontrol (2022) <https://movicontrol.es/la-automatizacion->

industrial/?srsltid=AfmBOopYCKLzBG9K4xYoYyyzOTbIp4VWxLV2Ncy07IOEYbACqWKLvFL

En la figura anterior se pueden observar la división de la pirámide en cinco niveles, el nivel de gestión (el cual es el nivel que se encuentra en la cima de la pirámide) se basa en procesar tareas de tipo corporativo con los sistemas de información de la organización (ERP), debajo del nivel de gestión, se encuentra el nivel de planificación, es allí donde se desarrolla la automatización, a través de los sistemas de operación (autómatas, PCs, equipos de visualización).

Ahora bien, en el medio de la pirámide, se ubica el nivel de supervisión y adquisición de datos, donde por medio de paneles o pantallas conocidas como HMI se representan gráficamente

los niveles de control y campo, creando así una interfaz entre máquina, proceso y operario. (SEIKA Automation, 2019). En cuanto a los niveles base, los cuales son nivel de proceso y control, tenemos que: el primero abarca los sensores, actuadores, temporizadores, contadores y toda la maquinaria y equipo que se tenga para la producción y el segundo, controla los procesos secuenciales por medio de ordenadores especializados como los controladores lógicos programables.

Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión (AP) se define como el conjunto de tecnologías de producción agrícola donde se busca optimizar los procesos, aplicando la cantidad correcta de insumo, en el momento adecuado y el punto exacto del cultivo. (García & Flego, 2019).

De acuerdo con lo publicado en la página web de BASF agricultura (2022), las tecnologías más utilizadas en este tipo de agricultura son:

- “Big Data, se basa en el análisis y recopilación de datos de forma metódica y eficiente.
- Automatización de procesos, realizar integración de hombre y máquina.
- Internet de las cosas (IoT), interconexión de dispositivos para un fácil intercambio de información.
- Inteligencia artificial (o IA), uso de softwares especializados en el control y toma de decisiones.
- Sensores, adaptación de maquina con sistemas avanzados.
- Drones, útiles para labores de mapeo y fertilización de cultivos.
- GPS, trazabilidad en tiempo de todo el proceso.”

Monitoreo en Tiempo Real

En concepto general, el monitoreo en tiempo real es la vigilancia y el control de la información suministrada por un sistema o proceso en tiempo real, lo que facilita la detección de fallos e incidentes que afecten la operación (Minery report, 2024). Según Gexterra (2024), en su artículo la importancia del monitoreo en tiempo real de procesos empresariales nos menciona que:

“En el entorno empresarial actual, donde la rapidez y la precisión son clave para el éxito, contar con herramientas que permitan monitorear en tiempo real los procesos internos es esencial para automatizar y optimizar cada paso de los flujos de trabajo, garantizando una mayor eficiencia y productividad en las operaciones.”

Reconvención Laboral

La reconvención “es una figura jurídica que se encuentra regulada en el artículo 404 de la Ley de Enjuiciamiento Civil. Según la cual, cuando el demandado tenga una pretensión contra el demandante que tenga conexión con la causa principal, podrá plantearla en la contestación a la demanda como reconvención.”(Expert abogados, 2022), es decir, durante un proceso civil el demandado puede ofrecer alternativas de solución diferentes a las expuestas inicialmente o a las exigidas por el demandante, siempre y cuando estas estén relacionadas con el caso principal.

Caldera de Biomasa

Tipo de sistema de calefacción con combustible de origen orgánico o vegetal comúnmente conocido como Biomasa (alvinox, 2022). Según lo descrito por alvinox (2022), en su artículo sobre las calderas de biomasa:

“Puede ser utilizada como **fuentes de calefacción económica y ecológica** en múltiples ámbitos del sector industrial, como:

- El sector vitivinícola.
- El sector agropecuario, sobre todo en granjas de porcinos.
- En el proceso de elaboración de aceite.
- En el proceso industrial del papel.
- En diversas plantas industriales que lleven a cabo operaciones de secado, como fábricas cerámicas o de tabaco.”

Biomasa

De acuerdo con el instituto para Diversificación y el ahorro de Energía (IDEA) (2022), la biomasa es la agrupación de materia orgánica, ya sea vegetal o animal y todos los elementos que se generan a partir de su transformación natural o artificial. También se indica que: “Los principales combustibles obtenidos a partir de la biomasa son leñas, astillas, pellets, huesos de aceituna y cáscaras de frutos”.

Interfaz

Según el diccionario de la lengua española (2024): “un interfaz es la conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones”, es decir, la es la conexión común entre dos sistemas independientes.

Imbibición

De acuerdo con la descripción del proceso de la azúcar, mostrado en la página de la Central Azucarera Tempisque S.A (2022), el proceso de agregar agua caliente al colchón de caña procesada durante la extracción del jugo, se le llama Imbibición.

Maceración

De acuerdo con el artículo publicado por Beer Magazine(2014), “la maceración es un proceso de extracción de sólido a líquido, donde una materia prima se deja reposar en un líquido durante un tiempo hasta que todos los compuestos solubles del sólido pasen al líquido”.

Procesos de Automatización Robótica Comúnmente Aplicados en las Líneas de Producción de la Industria Vallecaucana

La línea de producción se define como un conjunto de operaciones realizadas en el proceso de elaborar un producto. Esto sucede de manera secuencial al tener maquinaria y personal distribuido en las diferentes áreas de trabajo de la fábrica.

En el Valle del Cauca las líneas de producción que se destacan predominan en industrias como la azucarera, papel, química, cemento y la producción agroindustrial, esta última agrupa a la importantísima producción cafetera y frutícola (Gobernación Valle del Cauca, 2018). En esta ocasión utilizaremos como referentes las tres industrias con representación más significativo en la región: la azucarera, la industria del papel y la agroindustrial.

Estas tres destacadas industrias tienen en común que están regidas por el mismo principio de automatización (Sanchis et al., 2010), el cual consiste en: combinar sensores, actuadores, controladores, interfaz hombre-maquina, redes de comunicación e inclusive dispositivos de seguridad, para así garantizar la eficiencia, los cuales son definidos a continuación:

- *Los sensores* son los encargados de detectar los cambios en las magnitudes físicas que interviene durante todo el proceso, tales como: peso, nivel, temperatura, grados Brix, presión, humedad, posición.
- *Los actuadores* realizan la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto, todo por medio de la transformación de energía hidráulica, neumática o eléctrica. Algunos de ellos son: motores eléctricos, válvulas, resistencias, condensadores.
- *Los controladores* detectan diversos tipos de señales enviadas por los sensores, y posteriormente envía una orden de trabajo. Para procesos de automatización se utilizan controladores lógicos programables (PLCs), los cuales pueden ser programados para elaborar

una acción de acuerdo con el tipo de señal recibida, estos también pueden recibir modificaciones cuando sea necesario.

- *Interfaz hombre-maquina*, realizan la función de controlar y supervisar el proceso, los más comunes son los tipos SCADA, que nos muestran la condición en tiempo real de todos los sensores y actuadores del proceso, con lo cual se facilita la retroalimentación.
- *Redes de comunicación*, se encargan de la interconexión de todos los dispositivos, estas pueden variar entre diferentes tipos de protocolos.

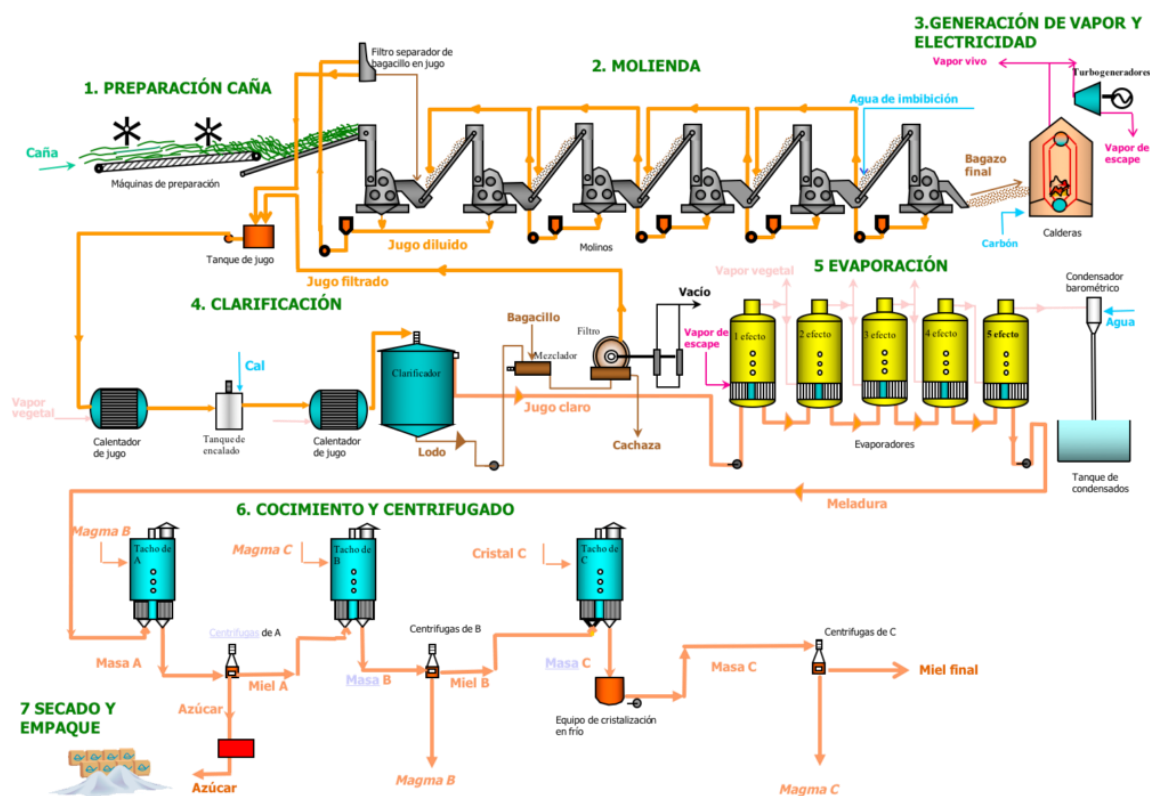
Industria Azucarera

Se puede decir que esta es la industria más importante en el desarrollo de la economía Vallecaucana, de acuerdo con un informe presentado por Asocaña (Asociación Cultivadores de Caña de Azúcar) (2023), para el año 2022 este sector representó 21.1% del PIB agrícola y el 11.1% del PIB Industrial, impactando socioeconómicamente en la región, debido a sus aportes en educación, salud, entre otros. Este sector lo componen ingenios como: Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichi, San Carlos, Riopaila-Castilla, Providencia y Carmelita; los cuales están distribuidos a lo largo y ancho del departamento.

En la actualidad la gran mayoría de los ingenios azucareros aplican un Control Automático de Procesos, en su línea de producción. El proceso de fabricación del azúcar (Ver Figura 2) se lleva a cabo por medio de varias etapas, iniciando en la molienda para la extracción del jugo de caña y pasando posteriormente a la clarificación, evaporación y cristalización (cocimiento y centrifugado), en finos cristales que finalmente se depuran para eliminar impurezas y así lograr un producto terminado de alta calidad.

Figura 2

Proceso de Producción Azúcar



Nota. Esquema de los procesos implementados durante la producción de la azúcar en los ingenios. Tomado de. Flujo de procesos, Ingenio Carmelita, (2023)

<https://ingeniocarmelita.com/flujo-de-procesos/>

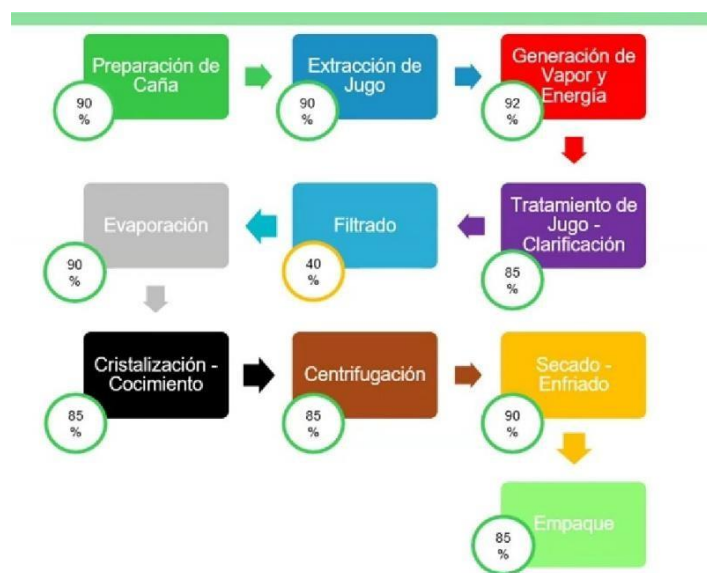
Con la implementación de automatización en las diferentes líneas productivas del proceso de caña, se ha logrado: mayor producción con menor consumo energético, gestión de información en tiempo real, mejorar la eficiencia y calidad por medio de la disminución del error humano y reducción de pérdidas (Cenicaña, 2022b). Durante la mayor parte del proceso se han instalado sensores para monitorear en tiempo real variables tales como: temperatura, peso, niveles de caudal, presiones de vapor, grados Brix y porcentajes de humedad (Rivera Ríos, 2019). Muchas de estas variables, anteriormente eran supervisadas por personal de calidad, los

cuales debían realizar recorridos periódicos en las diferentes áreas, registrando (cartas de tendencia) el valor medido en los sensores.

De acuerdo con el foro industria 4.0, realizado por Cenicaña en el 2022, el ingenio Sancarlos es uno de los principales referentes en temas de automatización y control, alcanzando niveles de más del 80% en implementación tecnológica en sus procesos productivos (Ver Figura 3).

Figura 3

Porcentaje de Automatización Ingenio Sancarlos



Nota. Niveles de porcentaje de automatización alcanzado por el ingenio Sancarlos en las diferentes etapas de producción del azúcar. Tomado de. Foro industria 4.0, Cenicaña (2022)

<https://www.youtube.com/watch?v=c-U8SoMxxIE&t=202s>

En la etapa de preparación y extracción de jugo de caña, se implementó un sistema automático de detección del tipo de caña garantizando una operación autónoma y logrando una estandarización en la extracción. El sistema consiste en controlar la velocidad de los conductores

de las cosechadoras en campo y detectar el tamaño y tipo de caña extraída (larga o mecanizada). El proceso de extracción, en primera instancia se realizaba de forma manual, donde un grupo de personas se encargaban de realizar el corte y recolección. Actualmente, se mezcla el corte manual con el mecanizado, utilizando maquinas cosechadoras, las cuales se encargan de cortar y depositar la caña en un remolque que circula paralelo a ellas (Cenicaña, 2020).

En cuanto la extracción del jugo es realizada por maceración, donde la caña es sometida a compresión e imbibición en molinos, el jugo extraído por un molino se aplica a la entrada del molino anterior. En un tándem de 5 molinos se aplica maceración al segundo, tercero y cuarto molino, e imbibición al quinto molino (Ingenio Sancarlos, 2020). La medición del nivel de caña dentro de las tolvas, el control de velocidad de los rodillos en cada molino y el sistema automático de alimentación del primer molino generan un proceso continuo, el cual está monitoreado con alarmas de todas las variables de operación (Tecnocat, 2018).

En la etapa de secado se debe garantizar un bajo nivel de humedad con un porcentaje máximo del 0.5% para evitar la formación de terrones en el almacenado a granel (Alfaro et al., 2018). Para ello, se monitorea en tiempo real la velocidad de rotación del tambor, el flujo y temperatura del aire desde el cuarto de control. En este proceso, el azúcar proveniente de las centrifugas es pasada a una secadora en contracorriente con aire caliente para reducir su humedad (Ingenio Sancarlos, 2020). Esta máquina consiste en un tambor que combina de forma ideal el tratamiento mecánico de la superficie cristalina con una velocidad reducida de secado, adicionalmente se inserta aire caliente mediante un tubo central (BMA, 2019).

Ahora bien, la industria azucarera de la mano con cenicaña ha avanzado en la innovación e implementación de tecnologías que le permitan posicionar sus líneas de producción en lo más alto de la pirámide de automatización (Figura 1), por medio de la articulación de la

automatización, la ciencia de datos, la inteligencia artificial, las telecomunicaciones, la robótica, el internet de las cosas y otras tecnologías que le permitan tomar decisiones acertadas en tiempo real (Cenicaña, 2022a).

Los avances más significativos para lograr este objetivo, de acuerdo con cenicaña (2021) en su resumen del camino a una agroindustria 4.0 son:

- Agricultura específica por sitios (AEPS).
- Redes metrológicas automatizadas, calidad del aire e internet de las cosas (IoT).
- Implementación digital con herramientas web, riego con sensores de potencial matricio, monitoreo hidrológico de cuencas y una plataforma robótica para fenotipificación en campo.
- Monitoreo, optimización y control de procesos en fábricas.

En cuanto a los desafíos de la industria azucarera, Cenicaña en su informe anual 2021 (Cenicaña, 2022c) afirma lo siguiente:

La gestión durante los próximos cuatro años será guiada por medio de seis líneas estratégicas, a saber: mitigar los efectos la variabilidad climática, avanzar hacia una producción responsable de biomasa, azúcares y energía, impulsar la diversificación, aportar de manera integral a la sostenibilidad del sector y la región, fortalecer el acompañamiento y la adopción de tecnologías y consolidar la eficiencia operativa del campo a la fábrica. (p. 8)

Industria del Papel

La industria de producción de papel y fabricación de cajas corrugadas para empaques es una industria liderada en el Valle del Cauca por la compañía Cartón de Colombia S.A, la cual es una empresa del grupo Smurfit Kappa, líderes a nivel mundial en la fabricación de empaques a

base de papel, esta empresa cuenta con 11 plantas, distribuidas entre Cali, Yumbo y Palmira (Caparoso José, 2023).

Dentro de sus procesos productivos se destaca la fabricación de pulpa y otros grados de papeles y cartones como: papeles para corrugar, papel Kraft para sacos, papeles para impresión y escritura, cartulinas y cartón chip para tubos, láminas de fibra sólida, empaques de cartón corrugados impresos hasta 4 colores (cajas regulares, bandejas y cajas troqueladas), sacos de papel multicapas para productos industriales, entre otros. (Smurfit Kappa, 2023a).

Figura 4

Proceso de Producción de Papel



Nota. Esquema flujo de procesos elaboración pulpa de papel. Tomado de. Como se fabrican las hojas de papel, YouTube (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=wxisPJCZOzo>

En el proceso de producción de papel (Ver Figura 4) de acuerdo con las ilustraciones brindadas en el usuario de la página Youtube “Como se hace” (2022): comienza con la toma de materia prima proveniente de árboles de crecimiento rápido, a los cuales se le separa y elimina la corteza del tronco ya que para la producción de papel se utilizan fibras celulósicas. Posteriormente, los troncos son lavados para eliminar impurezas y enviados a la etapa de astillado, donde son trozados y molidos hasta ser convertidos en pequeños fragmentos ideales para la fabricación de la pasta. En la etapa siguiente, se separan las fibras por medio de la suspensión en agua y seguido por el depurado, para ser enviados al blanqueamiento (este depende del uso final del papel), donde por medio de un tratamiento químico se consigue finalmente la pulpa de papel; con el fin de mejorar sus características se le realiza un proceso de activación agregando otras sustancias.

Finalmente, para obtener la hoja de papel, la mezcla de pasta es transportada a la máquina formadora, donde es filtrada por medio de telas que retienen las fibras y drenan el agua. Además, para garantizar un bajo porcentaje de agua en el papel, se realiza un proceso de secado por medio de cilindros giratorios calentados con vapor de agua. Las hojas resultantes, son embobinadas en grandes rollos, conocidos como papel virgen.

Para el año 2018, la planta ubicada en Yumbo realizó una modernización en la línea de producción de papel, en codesarrollo con la empresa Siemens (2018), en el sistema de enrollado de la máquina Winder (máquina encargada de la producción de papel), lo cual contribuyó en la reducción del consumo energético, generando optimización del espacio físico y tiempos de paradas de mantenimiento, y disminución de paradas de producción y uso ineficiente del papel.

El sistema reemplazado se basaba en el uso de frenos neumáticos, los cuales realizaban el control de velocidad del embobinado, garantizando la tensión adecuada del enrollado final. Sin

embargo, al ser un sistema neumático, su velocidad de trabajo no era constante y regular (García Mompeán J.A., 2022). Por ello se realizó la automatización del embobinado, por medio de la instalación de un mecanismo regenerativo, el cual consta de motores NEMA (ver Figura 5) variadores de velocidad SINAMICS (ver Figura 6) y el sistema de control basado en PSS 7 Sipaper. El nuevo sistema controla la velocidad del motor del desbobinador, garantizando la tensión adecuada, este control se realiza por medio de variadores de velocidad integrados al sistema de gestión de procesos (Sipaper).

Sipaper es un software de gestión, desarrollado por la empresa Siemens para la industria del papel, el cual cuenta con un portafolio de soluciones alineadas y de precisión, adaptables al proceso de cada cliente, con el fin de garantizar la fabricación de productos de alta calidad manteniendo al mismo tiempo los costes de las materias primas, la energía y el material de proceso al mínimo, desde una gestión optimizada de los procesos en toda la operación de producción de papel.(Siemens Energy, 2020).

Figura 5

Motor NEMA



Nota. Imagen de referencia de motor eléctrico marca Siemens utilizado en la industria del papel para tener un mejor control de las velocidades. Tomado de. NEMA Estándar Motor, Siemens (2023) <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Products/10042948>

Figura 6*Variadores de Velocidad SINAMICS*

Nota. Referencias de variadores de velocidad de la marca Siemens, utilizados para el control de arranque y funcionamiento de los motores eléctricos. Tomado de. SINAMICS variable frequency drives, Siemens (2018) <https://www.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics.html>

Con el plan de inversión y modernización en las líneas de producción orientado a incrementar la capacidad de producción, mantener líneas de producción seguras para los trabajadores y la reducción del impacto medioambiental (Smurfit Kappa, 2023b), junto con el desarrollo de herramientas digitales que ayudan a los clientes a generar valor en sus negocios, la industria del papel, especialmente Smurfit Kappa ha logrado integrar a su compañía, un óptimo sistema de gestión que le permite tomar decisiones centradas en un nivel corporativo pero enfocadas a la gestión global de la empresa, permitiéndole abarcar todos los niveles de la pirámide de automatización (Ver Figura 1)

Las acciones que se han implementado de acuerdo con este plan, según el informe de gestión del Smurfit Kappa (2023b) fueron: Modernización de las máquinas de papel, convertidoras y equipos forestales e implementación de un nuevo sistema de evaporación.

En cuanto a las herramientas digitales diseñadas para mejorar la experiencia de los clientes, en su página web en la sección de innovación (2023c) se mencionan las siguientes: VoluM3tric, paper to Box, PactExpert, Innobook, Store visualizer y Shelf viewer.

La industria del papel utiliza gran cantidad de recurso hídrico para la producción de la pulpa de papel, por ello tiene el reto de disminuir la carga orgánica, los contaminantes tóxicos y el consumo de agua y energía durante su proceso productivo. Para amortiguar este impacto ambiental, se plantean soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, tales como tratamiento biológico, tecnologías de membrana, reciclaje de agua, energías renovables y finalmente normativas y regulaciones. (Indugevi.sa, 2023)

Producción Agroindustrial

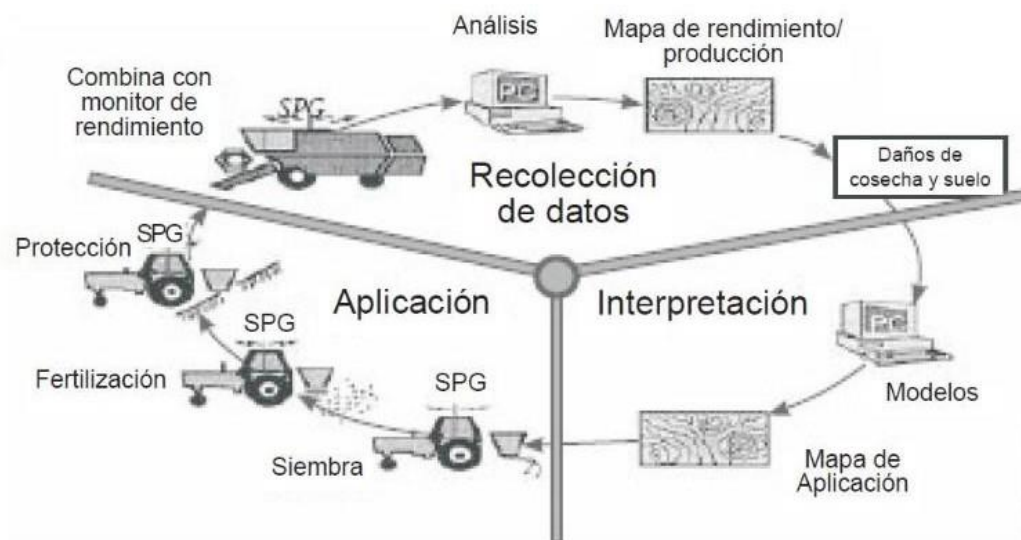
El Valle del Cauca es un departamento que se destaca en el país por su potencial agroindustrial, cuenta con más de 708.950 hectáreas aptas para cultivo agroindustriales (invest pacific., 2023). Debido a este gran potencial, la agricultura de precisión se ha convertido en una herramienta cada vez más importante para los agricultores, especialmente en un ambiente donde la productividad agrícola y la gestión eficiente de los recursos son fundamentales (Arenas et al., 2020)

La agricultura de precisión se basa en la integración de nuevas tecnologías (software y hardware) que recopilan y analizan los datos para optimizar la gestión de los cultivos. La información registrada se utiliza para conocer la situación de los cultivos (plagas, crecimiento, estado del suelo, etc) y mejorar las prácticas agrícolas (AlfaIOT, 2024). Esta tecnología se divide

en tres grupos que abarcan todo del proceso productivo, a saber: aplicación, recolección de datos e interpretación. (ver Figura 7)

Figura 7

Fases de la Agricultura de Precisión.



Nota. Diagrama de procesos aplicados en la agroindustria de precisión. Tomado de. Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia: revisión bibliográfica. Rodríguez, L (2020) <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/50c41507-d3cc-41f9-89c0-e057d3ab7473>

Según Johanna, L (2020) la aplicación de esta tecnología es posible gracias a los diferentes sistemas que la integran, tales como:

Sistemas de Posicionamiento. brindan información sobre la ubicación maquinaria, los trabajadores de campo y/o el cultivo.

Sensores Remotos. Por medio de imágenes satelitales facilitan definir áreas de muestreo y/o manejo, para medir índices de vegetación y productividad.

Monitores de Rendimiento. Se encargan de calcular y almacenar el rendimiento, la humedad y la cantidad de cultivo de la cosecha, creando mapas basados en la información recolectada.

Sistemas de Información Geográfica. Proporcionan datos de producción georreferenciados para la gestión y toma de decisión sobre los recursos.

Tecnologías de Dosis Variable. Utilizan los datos recolectados por las anteriores tecnologías y suministran la cantidad adecuada de insumos en el campo.

Gracias a la buena ubicación geográfica, la diversidad de climas, flora, fauna, recursos hídricos y naturales, la *agricultura* se ha convertido en una fuente de ingreso y desarrollo económico para la región y a su vez para el país. (Arenas et al., 2020)

Es por lo que, en 2017, el antiguo Colciencias (hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación), la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, dieron vida al Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano 2017-2027 (PECTIA) y se sancionó la Ley 1876, por medio de la cual se creó el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) (Congreso de Colombia, 2017).

Lo que se quiere lograr con este plan, según Sara Campos (2020), es “incluir las tecnologías de la Industria 4.0 en todas las actividades agropecuarias y vincular profesionales con la capacidad de conocer las necesidades de los productores y así tener una *agroindustria* que trabaje más desde el un nivel de gestión (ver Figura 1), que desde uno de proceso y control como se ha venido desarrollando por años”.

Para lograr este avance el *sector agrícola* debe incluir la aplicación tecnologías digitales en búsqueda de su eficiencia: Big Data, Inteligencia Artificial (IA), sensores e Internet de las Cosas (IoT), Machine Learning y drones, entre otras. (ACIEM, 2020).

El sector agroindustrial ha visto reflejado en su participación de ventas al exterior, el beneficio de la automatización en sus líneas de producción, de acuerdo con Asociación de comercio Exterior (Adicome, 2023), para el primer trimestre del 2023 su participación fue del 21.1% en las ventas externas del país, aunque este es una cifra a destacar, el sector aún cuenta con retos en términos de tecnología, modernización, financiamiento, sostenibilidad y hasta regulación que le impiden maximizar su potencial.

En resumen, en esta sección se realizó un análisis de los procesos de automatización robótica en las líneas de producción de las industrias más representativas en el Valle del Cauca, como lo son: la azucarera, pulpa y papel y la agroindustria. Las tres tienen integrado en sus procesos productivos la conexión de sensores, actuadores y protocolos de comunicación, pero cada una de ellas, los han adaptado a las necesidades de su mercado. En la industria de la caña de azúcar, se destacan los sistemas automáticos de detección del tipo de caña y los sistemas de monitoreo en tiempo real de variables como velocidad, temperaturas, flujos de aire y vapor; los cuales son un factor clave durante el secado de la azúcar. En la industria del papel encontramos sistemas de control de velocidad de embobinado (garantizan una tensión adecuada), un moderno sistema de evaporación y la implementación de herramientas digitales que mejoran la interacción con el cliente y los sistemas de gestión. En cuanto a la agroindustria, los sistemas de geolocalización, posicionamiento, monitoreo de variables (humedad, acides suelo, temperatura, etc), son en lo que más se ha hecho énfasis, ya que, junto con las herramientas de análisis de datos, integran el proceso de agricultura de precisión.

En general, las industrias del Valle del Cauca han venido implementación procesos automatizados con un mínimo margen de desperdicio y máximo de aprovechamiento de materia prima.

Estado Actual de la Automatización Robótica en las Líneas de Producción de la Industria Vallecaucana por Medio de la Comparación de sus Principales Indicadores

La automatización robótica ha permitido mejorar e integrar los procesos en las líneas de producción, por medio de la sustitución de actividades que en un principio se realizaban de forma manual. De acuerdo con Zapata et al. (2021) en su libro fundamentos de Automatización y redes industriales, indica que cada vez más industrias apuestan por mejorar los procesos utilizando máquinas automáticas para simplificar las tareas repetitivas. Lo anterior presenta ventajas y desventajas, tales como:

- **Ventajas:** Disminución de probabilidad de accidentes o enfermedades profesionales, reducción del tiempo de realización de tareas y aumento en la productividad.
- **Desventajas:** Mano de obra con habilidades y conocimientos específicos, dependencia tecnológica, inversión inicial elevada y aumento de desempleo derivado del reemplazo de obra manual por máquinas.

Todas estas ventajas y desventajas generadas por la automatización robótica se reflejan en indicadores, los cuales nos permiten conocer el estado actual de las industrias, abarcando una variedad de puntos claves que ofrecen una visión completa del rendimiento y potencia empresarial. Algunos de los más relevantes son: económicos, mercado, financieros, empleo, innovación, ambientales y sostenibilidad, calidad y satisfacción del cliente, competitividad, tecnológicos, regulatorios.

Para el caso de estudio del presente trabajo, se analiza particularmente tres indicadores, partiendo del principal para la automatización: el Tecnológico; así mismo como el ambiental y el de empleo, los cuales son en los que se inciden mayormente al momento de tecnificar un proceso.

Industria Azucarera

Cenicaña en su informe anual 2021 (Cenicaña, 2022c), define las seis líneas estratégicas sobre el cual se desarrollará los procesos de la industria en los siguientes cuatro años (2022-2026), lo cual se traduce como los desafíos industriales, derivados de diversas condiciones que la industria tuvo que darle frente en años anteriores, e identifico futuras oportunidades de mejora a largo plazo a partir del fortalecimiento en la infraestructura tecnológica e innovación.

- Mitigar los efectos la variabilidad climática.
- Avance hacia una producción responsable de biomasa, azúcares y energía.
- Impulse de la diversificación.
- Aporte integral a la sostenibilidad del sector y la región.
- Fortalecimiento del acompañamiento y la adopción de tecnologías.
- Consolidación de la eficiencia operativa del campo a la fábrica.

Además, en el informe de sostenibilidad 2022-2023, realizado por Asocaña (2024b) se resalta que:

La agroindustria de la caña ha desarrollado una estrategia que abarca las tres dimensiones de la sostenibilidad (económico, social y ambiental), sustentada en dos pilares fundamentales: El primero es la responsabilidad social, que busca generar un crecimiento económico responsable y a la vez mitigar y reducir los impactos de operación. El segundo pilar se enfoca en ir más allá de

los requisitos legales, trazando un camino hacia la obtención de la licencia social para operar y el fortalecer el arraigo y la legitimidad de la agroindustria de la caña en el territorio.

Como fue mencionado en el capítulo anterior, el proceso que ha tenido involucrado una automatización más visible es el de cosecha, pasando de ser un proceso manual, a mecanizado, evolucionando desde hace 9 años cuando fue implementado a sistemas más tecnificados y eficientes, datos presentados por Cenicaña (2022c) donde al iniciar en 2013 se cosechaban mecánicamente 76.512 Hectáreas, en 2021 fueron 120.861, incremento que se ha visto reflejado en tiempo y eficiencia.

Así mismo, otro proceso que ha venido evolucionando con el paso de los años es el sistema de riego, el cual es determinante para el crecimiento del cultivo, el riego en áreas donde el acceso a fuentes hídricas no era tan constante, se realizaba por inundación, método tradicional. Donde el único beneficio que presentaba era el bajo costo, sin embargo, no era un proceso eficiente en términos de tiempo ni uso de recurso, por ello la industria incursionó en el método de riego por goteo, el cual es un sistema controlado que consiste en la aplicación frecuente y controlada de agua y nutrimentos en forma localizada y directa, donde se maximiza el rendimiento de la caña de azúcar y a su vez garantiza una producción sostenible con menos gastos en el recurso hídrico y fertilizantes, dando más eficiente al recurso humano ya que no requiere mayor intervención para la operación y mantenimiento, permitiendo aumentar la productividad del cultivo reduciendo consumo de recursos y energía y los costos que a estos se asocia. (Rivera et al., 2018; Rivulis, 2019).

De los 7 procesos que componen la línea de producción de caña de azúcar (Preparación caña, Molienda, Generación de vapor y electricidad, clarificación, evaporación, cocimiento y centrifugado, secado y empaque (Ingenio Carmelita S.A., 2023), se podría decir que más o

menos el 71% se encuentra con intervención hombre-maquina, en menor medida “hombre” a partir de que va evolucionando la automatización.

Sin embargo, esta sigue siendo una industria que contribuye a la generación de empleo en la región de acuerdo con Cenicaña en su informe anual 2022, el sector genera 286.000 empleos directos e indirectos (Cenicaña, 2023), a pesar de ello, el indicador empleo es el más impactado al momento de implementar automatización en una línea de producción debido al reemplazo productivo de colaboradores al momento de sistematizar un proceso, es por ello que las empresas deben analizar, e implementar programas de reubicación laboral y cualificación de los colaboradores durante y antes de tecnificar un proceso. Tomando como ejemplo procesos industriales tan influyentes en la calidad del producto final, como lo es el proceso de cosecha, de acuerdo al reporte realizado con Cenicaña (2015b) presenta mayor productividad al ser sistematizado que al ser realizado por corteros, al ser realizado de forma manual reporta un rendimiento entre 2-4 t/hombre/día, en comparación a lo realizado por una cosechadora el cual es 24 o 25 t/hora en caña semilimpia, sin embargo, no es un proceso 100% automatizado, los ingenios siguen conservando un 35% en participación manual equivalente a 7.500 corteros.

Así mismo, las empresas desarrollan programas de profesionalización en diferentes áreas, y formación del colaborador que permita cualificar al componente humano, y así este pueda ser reubicado y sea más competitivo profesionalmente en el mercado laboral formal. Asocaña en su programa Compromiso Rural, planteó como uno de sus objetivos la generación de más de 1.500 empleos formales, y en su primer año contrató a más de 1800 personas (Asocaña, 2023b).

En cuanto a la protección y conservación de recursos naturales durante la producción industrial, se trata el indicador ambiental. Recursos no renovables como el agua, han sido aspectos claves en términos de sostenibilidad del medio ambiente, debido al gran impacto que

presentan las industrias con el uso y contaminación del mismo, la industria azucarera por ejemplo de acuerdo con el informe de Asocaña (2023), ha implementado en los últimos 20 años tecnologías eficientes de programación y medición de agua en sus sistemas de riego, lo cual ha logrado reducir el consumo hídrico hasta en un 50%, en la producción de caña de azúcar, además de otros beneficios colaterales como la mejora de la productividad, disminución de costos de riego, entre otros.

En términos del recurso hídrico, de acuerdo con los indicadores ambientales y de inversión en investigación presentados por Asocaña (2024b), en su informe de sostenibilidad 2022-2023 (ver Figura 8), el caudal efluente para el 2023 se ha reducido en casi un 50% (241 litros/segundo) comparado con los años 2016 y 2017 donde se consumieron 446 y 482 litros/segundo respectivamente.

Ahora bien, al hablar de consumo de energía generado por tonelada de azúcar producida, es importante destacar que según la Figura 8 este ha ido en aumento, no constante conforme pasan los años, ha incrementado de 18.9 GJ (mil millones de julios) en el 2015 hasta 25.9 GJ en el 2023, sin embargo para el correcto análisis de este aspecto, se debe tener en cuenta que la capacidad instalada de cogeneración también se ha incrementado con el pasar de los años como se muestra en la Figura 9, lo que quiere decir que la automatización por sí sola no ha incrementado el consumo de energía, sino que este se puede también atribuir a la expansión en área de producción.

Figura 8

Indicadores Ambientales y de Inversión en Investigación

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Consumo de Energía por tonelada de azúcar (GJ)	18,9	20,6	20,0	20,5	19,7	21,4	24,0	23,3	25,9
Carga de DBO5 en Efluente por tonelada de azúcar (kg)	1,4	1,3	2,8	1,9	1,3	0,8	0,5	0,6	0,5
Sólidos Suspendidos Totales en Efluente por tonelada de azúcar (kg)	0,7	0,6	1,0	0,8	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3
Carga de DQO en Efluente por tonelada de azúcar (kg)	3,5	3,8	7,2	4,8	2,8	1,9	0,8	1,1	1,1
Caudal Efluente (litros/segundo)	425	446	482	366	448	234	187	333	241
Inversión en investigación - CENICAÑA (millones de COP)	39.564	40.914	31.652	29.967	30.353	32.683	33.646	34.574	33.289

Nota. Histórico de indicadores ambientales y de inversión en investigación desde el 2015 al 2023, en la industria azucarera. Tomado de. Informe Sostenibilidad. Asocaña (2024) <https://www.asocana.org/modules/documentos/3/369.aspx>

De igual modo, la figura anterior permite analizar el comportamiento de inversión en investigación realizada por el sector en el margen de años del 2015 al 2023, donde se destaca que los años 2015 y 2016 fueron donde más inversión se destinó sumando más de 80 millones de pesos colombianos ambos años.

Figura 9

Cogeneración y Excedentes

CUADRO 5.

Cogeneración y excedentes 2014 - 2023 (1).

Año	Capacidad instalada cogeneración (MW) (2) (3)	Capacidad instalada excedentes (MW) (3) (4)	Energía eléctrica cogenerada (MWh) (5)	Venta de Excedentes al SIN (MWh) (6)
2014	214,5	68,1	1.297.323	441.219
2015	236,5	78,1	1.380.721	513.843
2016	253,0	93,6	1.417.633	591.717
2017	306,2	119,6	1.555.960	622.218
2018	316,2	127,6	1.706.066	726.153
2019	316,2	133,6	1.656.783	699.391
2020	319,2	134,1	1.712.034	722.929
2021	336,2	144,1	1.825.489	786.399
2022	337,9	144,1	1.744.585	759.194
2023	370,1	175,5	1.799.850	811.432

NOTA: (1) La cogeneración es un proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de la actividad productiva de quien produce dichas energías, destinadas ambas al consumo propio o de terceros. En el sector agroindustrial de la caña esta producción de energía se realiza principalmente a partir de Bagazo (fuente no convencional de energía renovable). Los excedentes hacen referencia a la energía eléctrica disponible una vez cubiertas las necesidades de consumo propio. Estos excedentes son vendidos al Sistema Interconectado Nacional (SIN). En este caso, solo se presenta la información referente a energía eléctrica.

(2) La capacidad instalada es el potencial de producción, para consumo propio y de excedentes, teniendo en cuenta todos los recursos que se tienen disponibles (equipos, instalaciones, entre otros).

(3) La información corresponde a la capacidad instalada al 31 de diciembre de cada año.

(4) Corresponde exclusivamente a la capacidad instalada para excedentes.

(5) Corresponde a la generación efectiva de energía eléctrica, incluyendo la energía utilizada para consumo propio y para excedentes.

(6) Corresponde a la energía eléctrica efectivamente entregada al SIN.

nd: no disponible.

FUENTE: Ingenios y Bioenergy para capacidad instalada y XM S.A. E.S.P. para cogeneración y venta de excedentes.

Nota. Históricos de indicadores de cogeneración de energía por la industria azucarera desde el 2014 hasta el 2023. Informe anual 2022-2023. Asocaña (2024)

<https://www.asocana.org/documentos/2562024-B8F8FBCE->

[00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5.pdf](https://www.asocana.org/documentos/2562024-B8F8FBCE-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5.pdf)

Industria del Papel

La industria del papel utiliza gran cantidad de recursos naturales, por ello, el principal reto del sector es la generación de negocios rentables con economías limpias, implementado acciones que contribuyan a la mitigación y adaptación del cambio climático por medio del uso responsable y eficiente de los recursos naturales. (ANDI, 2022)

Partiendo de esta premisa, y para la mejora de sus indicadores ambientales en cuanto a la generación de emisiones de CO₂, la compañía Smurfit Kappa en su informe de gestión (2023b) anuncio el inicio oficial del proyecto de la Caldera de Biomasa, con el cual buscan reducir alrededor de 200.000 toneladas de CO₂ al año. El proyecto consta de una inversión de \$100 millones de dólares para la compra de una nueva caldera de biomasa y una nueva línea de tratamiento de madera la cual incluye un nuevo descortezador, todo lo anterior con la finalidad de reemplazar el uso de combustibles fósiles, como carbón y gas natural, por un biocombustible sostenible, como la corteza y otros residuos derivados de la operación forestal.

El proyecto está encaminado en ir más allá de una mejora económica en cuanto a la eficiencia operativa, reforzando su compromiso en las practicas sostenibles y amigables con el medio ambiente, las cuales están alineadas a la responsabilidad corporativa y los objetivos medioambientales. (Smurfit Kappa, 2023b).

Además, las plantas de producción de Smurfit kappa y su cadena de suministro, cuentan con tres certificaciones forestales FSC, PEFC y/o SFI CoC, los cuales le permiten gestionar los recursos naturales de forma responsable y eficiente, garantizando la sostenibilidad de sus plantaciones y bosques, y de todos sus procesos productivos(Smurfit Kappa, 2022a).

En el resumen ejecutivo del informe de sostenibilidad 2018-2020 realizado por la ANDI (2022), se muestran los principales resultados ambientales (ver Figura 10) obtenidos durante el periodo comprendido entre 2010 y 2020, donde la emisión de CO₂ presenta una reducción del 19%, el recurso hídrico un descenso del 14% en la captación del miso y del 17% en vertimientos, todas estas medidas fueron tomadas en base a tonelada producida a nivel nacional.

Figura 10

Impacto en los Recursos Naturales



Nota. Comparativa de indicadores ambientales en la industria del papel entre el 2010 y el 2020.

Tomado de. Resumen ejecutivo informe de sostenibilidad 2018-2020. ANDI (2020)

<https://www.andi.com.co/Uploads/RE%20INFORME%20SOSTENIBILIDAD%20CA%CC%81MARA%20DIC%2022.pdf>

Por otro lado, el agua es parte fundamental del proceso productivo del papel y, por ello las empresas papeleras han incluido el uso racional de este recurso vital en su ADN, a través de la recirculación que le permite reciclar más del 80% del agua captada. (ANDI, 2023). Esto se logra, gracias a la implementación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en la cadena de producción, las cuales hacen posible que una corriente de agua pueda ser reutilizada en la misma etapa del proceso, o que pueda ser enviada y aprovechada en otra etapa.

Según lo mencionado por Enviro Solution (2024) en su página web, el modelo más sostenible y económico, implementado por las empresas papeleras es el de ciclo cerrado con sistema de vertido cero, el cual se compone por:

1. Tratamiento de aguas residuales: Antes de ser reutilizada, el agua residual se somete a procesos de tratamiento, que pueden incluir la sedimentación, filtración, y tecnologías avanzadas como la ósmosis inversa o la microfiltración para eliminar contaminantes.
2. Recuperación de agua: Se instalan sistemas de recuperación, como tanques de almacenamiento, que permiten capturar el agua tratada para su reutilización en el proceso productivo.
3. Bombeo y distribución: Se utilizan bombas y redes de tuberías para distribuir el agua tratada a diferentes secciones de la planta, como la formación de la hoja, el lavado de pulpas y los procesos de enfriamiento.
4. Monitoreo y control: Sistemas automatizados monitorean la calidad del agua y ajustan los procesos según sea necesario para garantizar que el agua recirculada cumpla con los estándares requeridos.

De acuerdo con lo mencionado por Isabel Cristina Riveros, directora ejecutiva de la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de la ANDI (2023), en un informe acerca del uso adecuado del recurso hídrico entre 2010 y 2020:

La captación de agua ha mostrado una reducción evidente a partir de 2010 cuando captaba 37.7 metros cúbicos por tonelada producida (m^3/t), indicador que se viene reduciendo, en 2012 alcanzó 34.7 m^3/t , en 2014 a 34.5 m^3/t , en 2016 a 33.1 m^3/t , y en 2020 logrando 32.1 m^3/t . (ver Figura 11).

En materia de vertimientos, la industria también reporta cambios en la gestión eficiente en los resultados de su monitoreo de indicadores a partir de 2010 cuando vertía $36\text{m}^3/\text{t}$ producida pasando a $33\text{m}^3/\text{t}$ en 2011 y a $30\text{m}^3/\text{t}$ en 2020. (ver Figura 12)

Figura 11

Captación de Agua Entre 2010 y 2020



Nota. Indicador extracción de agua de fuentes naturales como ríos, lagos, lagunas, etc. Tomado de. Resumen ejecutivo informe de sostenibilidad 2018-2020. ANDI (2020)

<https://www.andi.com.co/Uploads/RE%20INFORME%20SOSTENIBILIDAD%20CA%CC%81MARA%20DIC%2022.pdf>

Figura 12

Vertimiento de Agua Entre 2010 y 2020



Nota. Indicador histórico de descarga de aguas cargadas con sustancias o residuos en fuentes de agua naturales. Tomado de. Resumen ejecutivo informe de sostenibilidad 2018-2020. ANDI (2020)

<https://www.andi.com.co/Uploads/RE%20INFORME%20SOSTENIBILIDAD%20CA%CC%81MARA%20DIC%2022.pdf>

En lo referente al *indicador de empleo*, de acuerdo con el ministerio de comercio, industria y turismo de Colombia(2023), a julio del 2022, el índice de personal ocupado por la industria Pulpa, Papel y Cartón creció en un 3,8 %, gracias a compañías como Smurfit kappa, la cual desde el Valle del cauca tiene la operación más grande del país donde generan más de 3000 empleos directos. Sumado a esto sus programas de reforestación, también generan empleo en las zonas rurales del departamento. (Invest Pacific, 2024).

Agroindustria

La agroindustria se define como el conjunto de actividades que transforman materias primas provenientes de la agricultura, ganadería, sector forestal y pesquero en productos elaborados o semielaborados, incorporando procesos industriales (Planella Isidro, 1983).

A nivel del Valle del Cauca, al excluir la *industria de la caña*, se evidencia que el sector agroindustrial aún cuenta con retos en términos de tecnología, modernización, financiamiento, sostenibilidad y hasta regulación que le impiden maximizar su potencial. Aun así, Invest Pacific (2022) indica que: “el departamento es el mayor productor agrícola de Colombia, ya que aporta el 35% de la producción frutícola del país, gracias a que cuenta con el área de cultivo agroindustrial más grande en el territorio nacional, con más de 360 mil hectáreas”.

Además, el departamento cuenta viveros, cultivos, con la tercera empacadoras de aguacate Hass más importante del país, Managro y con el Centro Internacional de Agricultura Tropical -CIAT- el cual es el principal centro internacional de investigación agrícola de Colombia (Invest Pacific, 2022).

De acuerdo con la misma entidad, la producción de frutas en el Valle del Cauca supera las 625.000 toneladas en 41.200 hectáreas, y se posicionan como el cuarto productor frutícola de Colombia al aportar el 7,6% de la producción nacional (Invest Pacific, 2018).

Asimismo, la reducción de las brechas en productividad y competitividad en el sector agropecuario del departamento, de acuerdo con *Food and Land Use Coalition* (FOLU) (2022) en su informe de transformación de los sistemas alimentarios y el uso del suelo del Valle de Cauca, indica que se deben considerar 5 puntos importantes para lograr esta disminución, los cuales son:

1. Garantizar una conectividad física, por medio de un mantenimiento continuo y la mejora de vías terciarias.

2. Analizar el estado de la infraestructura productiva.
3. Fomentar los procesos de investigación en el manejo tecnológico de la producción, la calidad estandarizada, los procesos postcosecha (packing) y la agricultura tropical sostenible para la especialización productiva hortofrutícola.
4. Fortalecer el capital humano.
5. Fortalecer las alianzas interinstitucionales para mejorar en la oferta de las cadenas productivas.

La agroindustria se ha beneficiado con las diferentes iniciativas del Gobierno Nacional en el marco de la política de industrialización, la cual tiene como objetivo transformar el tejido empresarial del país hacia un modelo basado en la ciencia, la innovación, la sostenibilidad y el conocimiento. Una de las iniciativas que se destaca en el Valle del Cauca son los Centros de Reindustrialización ZASCA. (García Daniel, 2024). De acuerdo con ABC Centro de Reindustrialización Zasca (2024), el objetivo con estos centros es: “incrementar la productividad, mejorar la calidad de los productos, aumentar la generación de ingresos, brindar acceso a tecnología, llevar a cabo procesos asociativos, facilitar la formulación de planes de negocios para acceso a capital y propender por cambios significativos que contribuyan al crecimiento del sector”.

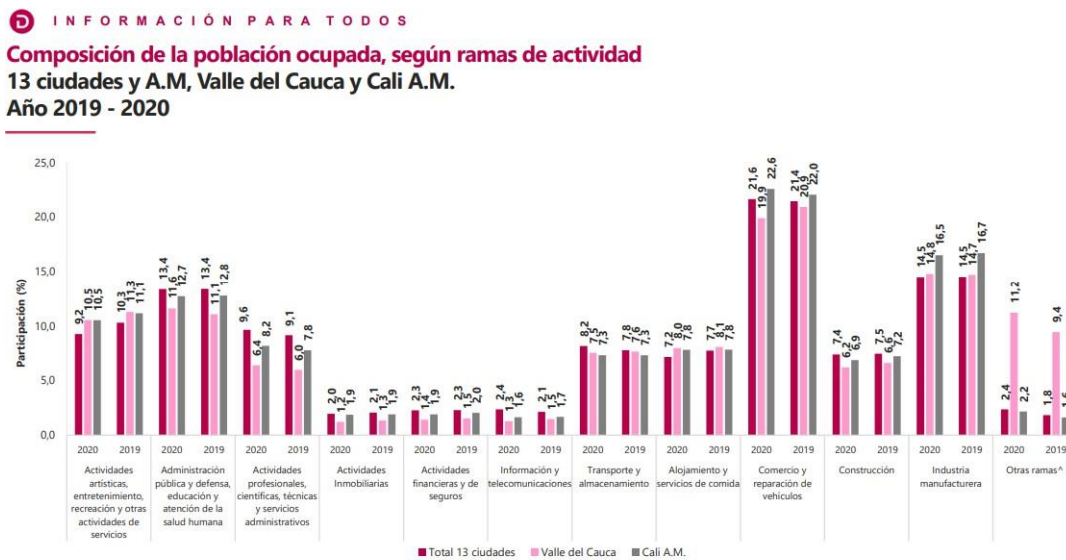
Además, Daniel García en su artículo Transformación agroindustrial en Colombia: innovación en el Valle y el Pacífico (2024) menciona que: “a través de Colombia Productiva, más de 1.392 Mipymes han recibido apoyo desde agosto de 2022 en áreas como asistencia técnica, digitalización y sostenibilidad, generando una mejora de sus indicadores de productividad y sostenibilidad en un promedio del 34,4%, impactando de forma significativa sus ventas y expansión en nuevos mercados”.

Por otro lado, familias cafeteras de sectores con bajos indicadores de productividad, están siendo acogidas en el marco de la política de fomento a la agricultura Campesina familiar y comunitaria. Con una inversión superior a los 2.000 millones de pesos, el ministerio de agricultura, mediante la entrega de maquinaria agrícola y asistencia técnica especializada, se propone mejorar los procesos de despulpado, lavado y secado de café, así como el manejo ambiental en la producción de este (Min Agricultura, 2022).

De acuerdo con el último informe del Dane (2023) en materias de empleabilidad, el para el año 2023, la tasa de desocupación de Valle del Cauca fue 11,7%, mientras que en 2022 se ubicó en 13,2%. La tasa de ocupación se ubicó en 57,1%, mientras que en el año anterior fue 55,8%. Finalmente, la tasa global de participación fue 64,7% frente al 2022 que se ubicó en 64,3%. En cuanto al porcentaje de población ocupada en áreas afines a la agroindustria en el valle del cauca, en el informe para la toma de decisiones regionales realizado por el Dane (2021) indica un aumento del 9,4% en el 2019 a un 11,2% en el 2020 (ver Figura 13).

Figura 13

Porcentaje Población Ocupada, Según Ramas de Actividad.



Fuente: DANE – GEIH

Nota: Otras ramas ^ incluye Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca; Explotación de minas y canteras; Suministro de electricidad, gas, agua y gestión de desechos.

Nota. Indicador de porcentajes de fuerza laboral en las diferentes actividades económicas de la región del Valle del Cauca, donde se destaca la agricultura por su incremento respecto el año 2019. Tomado de. La información del DANE en la toma de decisiones regionales Cali-Valle del Cauca. Dane (2021) <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/210709-InfoDane-Cali-Valle-del-Cauca.pdf>

En concreto, en esta segunda sección se compilaron diferentes indicadores (Ver Tabla 1) que nos permitieron evidenciar el estado actual de la automatización robótica de las líneas de producción en las industrias ya anteriormente mencionadas. Partiendo de que la automatización es el uso de tecnologías en la realización de tareas con baja intervención humana, se tomaron los indicadores tecnológicos, ambiental y de empleo como punto de análisis. En la industria azucarera, procesos como cosechado y riego han evolucionado con el tiempo, desde hacerlo de

forma manual y tradicional, a sistemas mecanizados y controlados sin interacción del factor humano, impactando en el indicador de empleo y generando a su vez que las compañías implementen programas de reubicación laboral y cualificación del personal. En cuanto al indicador ambiental, estos avances en el sistema de riego les han permitido reducir considerablemente el uso del recurso hídrico.

Respecto a la industria del papel, el indicador ambiental refleja una mejoría respecto al uso eficiente del agua y las emisiones de CO₂, y sumado a esto, su meta de reducir aún más el índice de desperdicios por medio de la ejecución de su proyecto de modernización de la Caldera de Biomasa, reforzando así su compromiso sostenible y amigables con el medio ambiente. En lo referente a el indicador de empleabilidad tuvo un ligero crecimiento, ya que se aumentó el índice de personal ocupado en esta industria.

Por otro lado, la agroindustria cuenta con poco desarrollo tecnológico, los retos en materia de modernización han impedido potencializar el sector en la región, pero con la implementación de políticas de industrialización realizadas por el Gobierno Nacional, la agroindustria vallecaucana espera alcanzar un nivel de mayor productividad, mejor calidad y más acceso tecnológico. A pesar de esto, el indicador de empleabilidad en áreas afines a la agroindustria indica un ligero aumento en el 2020, respecto a los años anteriores.

Tabla 1.

Factores por Resaltar en los Indicadores

Industrias	Tecnologico	Indicadores	
		Ambiental	Empleo
Azucarera	Automatización proceso cosechado: <i>se pasó de 76.512 Hectáreas (2013) a 120.86 (2021).</i>	Reducción del consumo hídrico en un 50%: 446 l/s* (2016) a 214 l/s (2023).	Para el 2022 se reportó la generación de 286.000 empleos directos e indirectos Programa Compromiso Rural genero cerca de 1.800 empleos.
	Implementación sistema de riego por goteo. Alrededor del 71% de los procesos de producción están automatizados.	Reducción en captación de agua: 34.7 m³/t* (2012) a 32.1 m³/t (2020)	Generación de empleos de forma indirecta por medio de su programa de reforestación.
Papel	Implementación sistema de <i>vertimiento cero</i> (tratamiento de aguas residuales).	Reducción en vertimientos: 36 m³/t (2010) a 30 m³/t (2020)	En el valle del cauca <i>Smurfit kappa</i> genera más de 3000 empleos directos.
	Proyecto modernización <i>Caldera Biomasa</i> para reducir 200.000 toneladas de <i>CO2</i> al año. Modernización <i>sistema embobinador</i>	La emisión de <i>CO2</i> muestra una reducción del 19% entre el 2010 y el 2020 .	A julio del 2022 el índice se personas trabajando en la industria del papel creció en un 3.8%
Produccion Agroindustria	En oposición a los retos en materia de <i>modernización</i> el <i>gobierno</i> y <i>empresas privadas</i> han invertido de más de 2.000 millones de pesos para <i>maquinaria agrícola y asistencia especializada</i> .	Gestión eficiente de los recursos. Diversificación de cultivos.	El índice se personas trabajando en la agroindustria en el valle del cauca indica un aumento (9,4% en el 2019 a un 11,2% en el 2020).

l/s: litro/segundo

m³/t: metros cúbicos por tonelada producida

Nota. Breve resumen de los cambios más significativos en las industrias, con miras a mejorar sus indicativos de gestión.

Desafíos en la Adaptación de la Fuerza Laboral Ante la Automatización Robótica en las Líneas de Producción Vallecaucana Tomando Como Base las Políticas y los Programas de Formación y Capacitación

En la actualidad, las grandes industrias fabrican sus productos por medio de sistemas automatizados (Industria 4.0) que constan de 5 niveles (ver Figura 1) conectados mediante redes de comunicación industriales. (López & Velasteguí, 2021)

De acuerdo con CCOO industrial (2019), en su artículo titulado *“los principales retos para la industria ante la digitalización y el desarrollo de la industria 4.0”*, menciona que:

“El cambio que introduce la Industria 4.0 no es en la producción sino en la innovación del proceso y modelo de negocio. La clave es poseer la información adecuada en el momento adecuado y con el dispositivo adecuado. Lo que llevará a una simplificación de los procesos actuales en la industria, agilizándolos al mismo tiempo y reduciendo la posibilidad de accidentes o de fallos. Para ello, se necesita una nueva capacitación, unas nuevas competencias digitales, unos nuevos perfiles profesionales que permitan abordar con garantías todas las fases del proceso de trabajo con los datos”.

Con el fin de brindar garantías durante los procesos de automatización en las industrias, el gobierno colombiano ha impulsado proyectos de ley que exigen la capacitación de los empleados y contratistas, y hasta la reubicación de los trabajadores (Quintero Esteban, 2023) esto con el fin de regular el desarrollo y la aplicación de inteligencia artificial (IA). (CELE, 2020).

El 2 de agosto del 2022, el Ministerio de Educación Nacional expidió la resolución 15177 (Min Educación Nacional, 2022) con la cual reglamentan la metodología a distancia para la oferta y desarrollo de programas que complementan, actualizan, suplen conocimientos y forman en aspectos académicos o laborales sin sujeción al sistema convencional. Por lo tanto, lo anterior

ha generado que los empleados estén motivados en aprender nuevas habilidades que les permitan escalar en las compañías o mantenerse actualizados de los cambios tecnológicos.

Así como también el gobierno en pro de la educación, y en cabeza del ministerio de TIC, ha venido desarrollando un plan de formación gratuita, enfocado en mejorar las habilidades digitales de la población, de acuerdo con el ministro TIC, Mauricio Lizcano (2024), “la educación digital es un pilar fundamental en el objetivo de brindar oportunidades a todos los colombianos, mediante programas que se ajusten a sus necesidades y conocimientos”.

Industria Azucarera

En cuanto a las industrias del valle de cauca, se destacan varias estrategias como las implementada en el sector azucarero, Compromiso rural con la cual busca educar y generar empleo. La etapa inicial de esta estrategia pretendía generar 1.500 empleos formales, sin embargo, en su primer año contrató a más de 1.800 personas (Asocaña, 2023b).

El compromiso en la formación de colaboradores que cuenten con las capacidades necesarias para adaptarse a los cambios del mercado y mantenerse actualizados, es tal, que grandes organizaciones como Procaña, Asocaña, Azucari, CENICANÑA, SENA e ICBF destinan una inversión anual de más de 20 mil millones de pesos en programas de formación y generación de empleo agroindustrial.

Por su parte, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar- Cenicaña, se destaca por sus diferentes iniciativas en esta área donde busca fomentar la capacitación a través de su Programa de aprendizaje y asistencia técnica (PAT), el cual tiene como objetivo incrementar el nivel de adopción de tecnología disponible para el cultivo de caña de azúcar en el valle del cauca. (Cenicaña, 2015a). así mismo Cenicaña con el apoyo del SENA, realiza formaciones técnicas enfocándose en diferentes procesos especializados como: producción de azúcar, cultivo

de caña, mejoramiento de competencias administrativas y organizacionales, implementación de nuevas tecnologías y adaptación a la era digital (SENA, 2022).

Durante el proceso de implementación de nuevas tecnología y mejoramientos productivos, aquellos procedimientos que involucran mucha intervención manual repetitiva con potencial de mejoramiento tecnológico se ven afectados en términos del factor humano, puestos como el de los corteros de caña, el cual se puede decir que ha sido uno de los mayormente afectados en esta industria, debido a su reducción de personal, conlleva a que en el año 2008 se realizara un paro colectivo de los corteros de caña en donde exigían mejoras en su calidad laboral y que les respetaran su derecho al trabajo (Montoya Duque G.I, 2012).

Por lo anterior y en pro de respeto y la calidad de vida de muchas familias, ingenios como Ingenio Providencia S.A., implemento procesos de reconversión laboral entre el periodo de 2012 y 2019, en él, se buscaba brindar apoyo en temas de vivienda, educación, seguridad y salud en el trabajo y recreación a los colaboradores, acompañándolos y asesorándolos en pro del bienestar (Serna Ospina S et al., 2020).

Industria del Papel

En lo referente a la Industria del papel, compañías como Smurfit Kappa, en su ambición de posicionarse a nivel global como un excelente lugar de trabajo, un empleador de elección para el mejor talento y una compañía de renombre, han implementado una estrategia basada en cuatro pilares (Smurfit Kappa, 2021), los cuales según lo indicado en su página oficial son y se basan en:

Desarrollo de las personas y gestión del talento, donde ayudan a sus empleados a crecer profesionalmente y desarrollar su potencial.

Experiencia del empleado para el desempeño y comunicación, con lo cual garantizan que el empleado entienda la estrategia de la compañía y lo importante de su participación.

Inclusión, diversidad y equidad, desarrollan un ambiente inclusivo, autentico, y con sentido de pertenencia hacia la compañía.

Recompensas y reconocimiento, atraen, retienen y reconocen el trabajo de los empleados por medio de prácticas competitivas.

Dentro de su estrategia de desarrollo de talento, en el valle del cauca se destacan una serie de programas enfocados en motivar a todos sus colaboradores a acoger el aprendizaje de información y obtener nuevas habilidades, sin importar la etapa o el nivel organizacional que se tenga dentro de la compañía (Smurfit Kappa, 2022b). Estos programas, ayudan a disminuir la brecha de habilidades tecnológicas y generan una transformación del perfil de la fuerza laboral, de acuerdo con la sección desarrollo del talento (2022b), en su página oficial, se destacan los siguientes programas:

Graduate Workshop: Es un taller dirigido a los graduados que inician su carrera laboral en Smurfit Kappa con el fin de ofrecerles una mayor exposición en la compañía.

Programa Avanzado de Desarrollo Gerencial: Ofrece una oportunidad para que los participantes aprendan aspectos de la compañía por fuera de su rutina de trabajo diaria y se desarrollen personal y profesionalmente.

Programa Global de Administración: Esta enfocado en el apoyo inicial y el desarrollo de los administrativos, donde se abarcan temas de uso de herramientas e información necesaria para ser exitosos en la compañía.

Open Leadership: Se basa en la identificación de líderes potenciales dentro de Smurfit Kappa, donde se le brinda capacitación en todos los niveles del Grupo empresarial y así fomentar un crecimiento sostenido y éxito en el largo plazo.

Desarrollo del Liderazgo Senior: Programa diseñado para motivar a los líderes, que tiene cargos CEO a continuar con su crecimiento profesional y personal.

Programa de Lengua Inglesa en Línea: Apoya el avance en el aprendizaje de la lengua inglesa de todo el recurso humano de la compañía.

Agroindustrial

En el sector agroindustrial es donde se observa mayor abordaje del tema de capacidad de adaptabilidad al cambio en términos de automatización con acompañamiento institucional, lo anterior quiere decir que las diferentes instituciones educativas buscan ofrecer cursos, programas, diplomas, que ayuden a la formación del colaborador, brindándoles las herramientas necesarias para fortalecer su conocimiento tecnológico.

Por ejemplo, la agroindustria del valle del Cauca en su búsqueda por contrarrestar los efectos del cambio climático, los escasos recursos como el agua, y la demanda alimentaria, ha comenzado a implementar sistemas de precisión en sus cultivos, como estrategia de optimización y gestión eficiente de recursos e insumos; logrado incrementar la producción, disminuir los costos y reducir los impactos ambientales (Parody Zuleta M & Zapata Sanjuan A, 2018).

Además de las herramientas y tecnologías necesarias, esta estrategia requiere un alto nivel de capacitación y conocimientos por parte de los agricultores, ya que deben saber interpretar los datos recopilados y tomar decisiones informadas sobre cómo aplicarlos a la gestión de los cultivos (Fideliza, 2023). Por esta razón, cada vez más universidades y centros de formación están ofreciendo cursos y programas de capacitación en agricultura de precisión.

Uno de los más destacados, es el ofrecido por la Universidad Nacional sede Palmira, en su pregrado de Ingeniería Agrícola donde a partir de sexto semestre los estudiantes ven la asignatura VIDA (Vegetación, imágenes, drones y agricultura) en la cual aprenden los conocimientos básicos tecnológicos y su normativa en Colombia (MinAgricultura, 2022).

Otro que llama la atención es el curso de Desarrollo Técnico en Sensores Remotos para Agricultura, ofrecido por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, donde el estudiante aprende el uso herramientas de programación avanzadas para el análisis de datos geoespaciales, automatización de tareas y desarrollo de aplicaciones (UNAD, 2020).

De acuerdo con lo anterior, las grandes empresas han ido incorporando a su grupo de trabajo Ingenieros y Analistas de Agricultura de Precisión, los cuales cuenta con todo el conocimiento para el manejo y desarrollo de esta tecnología. Pero a su vez los pequeños cultivadores deben recurrir a terceros para aplicar estas prácticas en sus cultivos, o ser partes de proyectos investigativos, donde por medio de transferencia del conocimiento, financiamiento público y privado logran obtener acceso a esta tecnología. Un ejemplo de esto es la investigación realizada por el grupo ILAMA, donde trabajando con campesinos del valle cauca, se logró fortalecer el cultivo orgánico e identificar propiedades medicinales de la cúrcuma para el tratamiento de enfermedades como el Parkinson y el Alzheimer(Universidad del Valle, 2022).

En materia general, en el marco del foro Revolución 5.0: Transformando el futuro (2023), organizado por el Diario La República, el ministro TIC, Mauricio Lizcano indica que “el mundo se encuentra en la revolución 5.0 y en Colombia, actualmente la 4.0 aún no se ha desarrollado en totalidad, presentando falencias en temas fundamentales como: IOT, digitalización, inteligencia artificial, analítica de datos.”

Al buscar una integración de la IA y los procesos industriales por medio de la revolución 5.0, la cual se basa en la colaboración sinérgica de las personas y las máquinas, se generan una serie de desafíos y oportunidades, los cuales según el artículo publicado en la página web de Digixem 360 (2024) son:

En materia de desafíos se encuentra la integración tecnológica (complejidad y costos durante la implementación de mejoras de infraestructuras), formación y habilidades (alta calificación de la fuerza laboral y constante formación), ética y privacidad (regulación clara durante los procesos de recopilación y análisis de datos personales o confidenciales) y ciberseguridad (protección de la infraestructura ante posibles ciberataques).

En cuanto a oportunidades, la colaboración mejorada entre humanos y máquinas (facilitar la colaboración entre humanos y máquinas), personalización masiva (garantizar producción a gran escala adaptada a las necesidades de los clientes), sostenibilidad (optimizar el uso de los recursos y reducir los residuos mediante el análisis y el mantenimiento predictivo) y la toma de decisiones avanzada (análisis en tiempo real de grandes volúmenes de datos).

Gracias a estos desafíos y oportunidades, la industria vallecauca ha seguido con sus procesos de adaptación tecnológica en las diferentes áreas de las compañías, para así finalmente lograr una industria sólida, comprometida con la sostenibilidad y donde el hombre se pueda integrar con las máquinas sin generar repercusiones en el tema de empleabilidad.

Recapitulando la última sección, se analizó como las industrias han venido avanzando en la tecnificación y automatización de la gran mayoría de sus procesos en líneas productivas, con el fin de mejorar la eficiencia, aumentar la calidad, disminuir los desperdicios y reducir la accidentalidad y el riesgo de fallos, lo que ha generado que para muchos puestos de trabajo se deba tener una mayor preparación, que garantice poder abarcar las diferentes fases del proceso.

Con el objetivo de fortalecer la protección de los colaboradores en el ámbito legal, el gobierno ha desarrollado programas que buscan reeducar y capacitar a los trabajadores, promoviendo su reubicación laboral a través de la formación o el apoyo en nuevos puestos, sin embargo, es de mencionar que esto requiere mayor desarrollo.

Por su parte, en industrias como la azucarera, se puede reconocer el esfuerzo de capacitar y educar a su comunidad por medio de diferentes convenios con instituciones de educación e investigación donde se ofrecen oportunidades de profesionalización en las diferentes áreas.

La industria del papel busca ampliar el campo de desarrollo de sus colaboradores, por ello motiva a sus colaboradores a la educación permanente incluso en áreas fuera de su especialización, esto con el objetivo de formar recurso humano con habilidades que le permiten adaptarse a los diferentes cambios reales del mercado, logrando así el aumento de profesionalización y perfiles laborales más atractivos.

La adaptabilidad en su recurso humano es el principal factor motivador para la agroindustria, siendo esta clave para enfrentar los cambios y retos del mercado. Gracias al acompañamiento institucional, se ha logrado aumentar la oferta de cursos, programas y herramientas que permiten ayudar a la formación del campesino, contando con acompañamiento de instituciones comprometidas con la investigación y la implementación de nuevas estrategias que permitan una interacción hombre-maquina con bajo impacto en empleabilidad.

Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió exponer de forma comparativa y un poco detallada la contribución de la automatización robótica en las líneas de producción de las tres industrias con mayor impacto económico en el Valle del Cauca, tomando como base factores como: eficiencia, productividad, sostenibilidad y las oportunidades y/o desafíos en cuanto a lo social, económico, e innovador que impactan directamente en la fuerza laboral y la calidad del empleo; los cuales son común denominador en todas las industrias.

A través del análisis de los procesos de automatización robótica implementados en cada una de estas industrias, se logró comprender como los avances tecnológicos pueden generar un impacto positivo en materia de productividad y eficiencia, pero también pueden generar inconvenientes en lo social por el aumento del desempleo, en lo económico por los altos costos de implementación inicial, y en el ámbito ambiental por sobre explotación de recursos, sin embargo es pertinente así mismo destacar la gestión realizada en las industrias con el fin de proteger el medio ambiente, a través de la implementación de procesos automatizados que minimizan los desperdicios y permitan el aprovechamiento máximo de las materias primas.

En cuanto al estado actual de la automatización de estas industrias en la región, se evidencia una mejora constante en los indicadores, gracias a la implementación de diferentes estrategias, en áreas como la profesionalización del colaborador para un aumento de empleabilidad y una mayor aceptación a los cambios tecnológicos. Sumado a esto, las compañías han realizado mejoras en sus procesos de producción, permitiéndoles obtener certificaciones ambientales y de alta calidad con el fin de lograr un mejor posicionamiento en el mercado.

En lo referente a las oportunidades y/o desafíos ante la adaptación de la fuerza laboral a la automatización robótica de las líneas de producción, se expone la poca gestión del gobierno en

materia legislativo para proteger los derechos de los trabajadores, pero se destacan las medidas tomadas por las compañías para mantener condiciones dignas que a su vez generan ambientes laborales seguros y agradables para cada uno de sus colaboradores.

Recomendaciones

A partir del desarrollo del presente trabajo se recomienda analizar y profundizar los beneficios y desafíos de la automatización en las líneas de producción en corto y largo plazo, frente a temas como la desvinculación laboral de los colaboradores que ya no son requeridos en los diferentes procedimientos de los procesos de producción. Esto con el fin de incentivar la profesionalización de los puestos de trabajo por parte de los empleadores y alentar al gobierno en la creación de leyes que protejan los derechos del trabajador, frente a los diferentes avances tecnológicos en las industrias.

En caso de usar esta investigación como guía o fuente informativa previa a la implementación de una tecnología en las líneas de producción, se recomienda realizar un estudio más detallado del estado de estas en la industria donde se desenvuelve la compañía.

Referencias Bibliográficas

- Acharya, V., Sharma, S. K., & Kumar Gupta, S. (2018). Analyzing the factors in industrial automation using analytic hierarchy process. *Computers & Electrical Engineering*, 71, 877–886. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2017.08.015>
- Adicome. (2023). *Los desafíos y oportunidades para empresas agroindustriales en Colombia en 2023 - Adicomex*. Adicome. <https://adicomex.org/202309/los-desafios-y-oportunidades-para-empresas-agroindustriales-en-colombia-en-2023/>
- AlfaIOT. (2024). *IOT y agricultura de precisión: tecnología para la gestión agrícola*. AlfaIOT. <https://alfaiot.com/actualidad-iot/iot-y-agricultura-de-precision-tecnologia-para-la-gestion-agricola/>
- Alfaro, J. L., Velásquez, E., Monterroso, L., & Espinosa, R. (2018). EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE AZÚCAR. *Cenicaña*. www.cengicana.org
- alvinox. (2022). *Calderas de biomasa: eficiencia energética | Alvinox*. <https://www.alvinox.com/calderas-biomasa-industria/>
- ANDI. (2022). Resumen Ejecutivo Informe de Sostenibilidad 2018-2020. *ANDI*.
- ANDI. (2023). *ANDI - Noticias captacion de agua*. ANDI. <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17407-industria-del-papel-revela-sus-resultad>
- Arenas, Tirso Quintero Ovalle, Pedro Rosales Navarro, Daniel Flórez Pérez, Nelson Navarrete Hernández, I. E., Bohórquez Betancourt, G., Manrique Van Damme, A., Stella Fonseca Arenas, S., Medina Velandia, D., Sánchez Sierra, G., Ortiz Sepúlveda, R., Mourra Babun, W., Pantoja García, C., Suárez Díaz, G., Gómez Cepeda, A., Arturo Pérez Ceballos, C., Pantoja García -ACIEM Atlántico, C., Rico

Sermeño -ACIEM Bolívar, L., de Jesús Bautista Morantes -ACIEM Boyacá, A., ...

Bohórquez Betancourt -Reglamentos, G. (2020). Asociación colombiana de ingenieros presidentes capítulos y seccionales directores comisiones de estudio.

ACIEM. www.aciem.org

Asocaña. (2023). *Sector Agroindustrial de la Caña*. Asocaña.

<https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>

Asocaña. (2024a). *Informe anual 2022-2023*. Asocaña.

<https://www.asocana.org/documentos/2562024-B8F8FBCE->

[00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3](https://www.asocana.org/documentos/2562024-B8F8FBCE-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3)

[C4B5.pdf](https://www.asocana.org/documentos/2562024-B8F8FBCE-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3)

Asocaña. (2024b). *Informe Sostenibilidad 2022-2023*. Asocaña.

BASF, A. (2022). *7 aplicaciones de agricultura de precisión | BASF*.

[https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-](https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-agricultura-precision)

[agricultura-precision](https://agriculture.basf.com/co/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-agricultura-precision)

BMA. (2019). *Secadores de tambor*. BMA. <https://www.bma->

[worldwide.com/es/equipos/secado-del-azucar/instalaciones-de-secado-y-de-](https://www.bma-worldwide.com/es/equipos/secado-del-azucar/instalaciones-de-secado-y-de-)

[enfriamiento-de-azucar-1.html](https://www.bma-worldwide.com/es/equipos/secado-del-azucar/instalaciones-de-secado-y-de-enfriamiento-de-azucar-1.html)

Caparroso José. (2023). *El mayor productor de cajas de Colombia despliega inversiones de US\$140 millones en el país* - . Forbes Colombia.

<https://forbes.co/2023/08/03/negocios/smurfit-kappa-en-colombia>

CASAT. (2022). *Fabricación del Azúcar - CATSA - Central Azucarera Tempisque S.A.*

<https://www.catsa.net/como-trabajamos/area-industrial/fabricacion-del-azucar/>

- CCOO de Industria. (2019). *los principales retos para la industria ante la digitalización y el desarrollo de la industria 4.0*. www.industria.ccoo.e
- CELE. (2020). *¿Cómo se está pensando la regulación de la inteligencia artificial en Colombia?* - CELE. Centro de Estudios En Libertad de Expresion.
<https://observatoriolegislativocele.com/como-se-esta-pensando-la-regulacion-de-la-inteligencia-artificial-en-colombia/>
- Cenicaña. (2015a). *Carta Informativa*. www.cenicana.org
- Cenicaña. (2015b). *Cosecha, alce y transporte de caña – Cenicaña*. Cenicaña.
<https://www.cenicana.org/cosecha-alce-transporte/>
- Cenicaña. (2020). *El Valle del Cauca le saca más 'jugo' a la agroindustria de la caña – Cenicaña*. Cenicaña. <https://www.cenicana.org/el-valle-del-cauca-le-saca-mas-jugo-a-la-agroindustria-de-la-cana/>
- Cenicaña. (2021). *Agroindustria 4.0 - YouTube*. Cenicaña.
https://www.youtube.com/watch?v=S_ZEgpIEHxk
- Cenicaña. (2022a). *2do Foro Industria 4 0 - YouTube*. Cenicaña.
<https://www.youtube.com/watch?v=EIJ3Ku4fBcM>
- Cenicaña. (2022b). *Foro | Industria 4.0. - YouTube*. Cenicaña .
<https://www.youtube.com/watch?v=c-U8SoMxxIE&t=202s>
- Cenicaña. (2022c). *INFORME ANUAL 2021*. Cenicaña. www.cenicana.org
- Cenicaña. (2023). *Informe Anual 2022*. Cenicaña. <https://www.cenicana.org/wp-content/uploads/2023/09/ia2022.pdf>
- Como se hace. (2022). *Cómo Se Fabrican Las HOJAS De PAPEL? [Proceso En Fábrica] - YouTube*. Como Se Hace . <https://www.youtube.com/watch?v=wxisPJCZOzo>

- Congreso de Colombia. (2017). *Ley 1876 de 2017*. Congreso de Colombia.
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/col181812.pdf>
- CTQ. (2022). *Objetivos de la Automatización Industrial - Critical to Quality*. CTQ.
<https://www.ctq.com.mx/objetivos-de-la-automatizacion-industrial/>
- Dane. (2021). La información del DANE en la toma de decisiones regionales Cali-Valle del Cauca. *Dane*.
- DANE. (2022). Producto interno bruto por departamento. *Dane Colombia*.
- Dane. (2023). Boletín técnico Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH) 2023. *Dane*.
- Diario La Republica. (2023). *Revolución 5.0: Transformando el futuro*. Diario La Republica. <https://www.youtube.com/watch?v=Wbh6zTslYQ&t=6s>
- Digixem 360. (2024, August 6). *La IA y la industria 5.0, hacia la fábrica inteligente*.
<https://impactotic.co/tecnologia/tecnologias-empresariales/la-ia-y-la-industria-5-0-como-cambia-el-paradigma-de-la-fabrica-inteligente/>
- EAFIT. (2016). Reporte financiero Cartón Colombia S.A. *EAFIT*. <https://doi.org/10.23%>
- Enviro Solution. (2024). *Tratamiento de aguas residuales en la industria papelera | Condorchem Enviro Solutions*. Enviro Solution.
<https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-en-la-industria-papelera/>
- Expert abogados. (2022). *La reconversión laboral: ¿Qué es y cuándo se utiliza?* • EA.
https://expertabogados.com/la-reconversion-laboral-que-es-y-cuando-se-puede-utilizar/#%C2%BFQue_es_la_reconversion_laboral
- Fideliza. (2023). *Agricultura de precisión: mejorando la eficiencia y sostenibilidad en la producción agrícola – Nutrición de Plantas*. Nutricion de Plantas Sas.

<https://nutriciondeplantas.com.co/agricultura/agricultura-de-precision-mejorando-la-eficiencia-y-sostenibilidad-en-la-produccion-agricola/>

FOLU, & Alianza Bioersity-CIAT. (2022). *Hoja de ruta para la transformación de los sistemas alimentarios y usos del suelo del Valle del Cauca*. FOLU.

<https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2023/01/FOLU-Valle-del-Cauca.pdf>

García Daniel. (2024). *Transformación agroindustrial en Colombia: innovación en el Valle y el Pacífico* | 360 Radio. Daniel García. <https://360radio.com.co/transformacion-agroindustrial-en-colombia-innovacion-en-el-valle-y-el-pacifico/162398/>

García, E., & Flego, F. (2019). *Agricultura de Precisión*.

García Mompeán J.A. (2022). *Qué ventajas e inconvenientes tiene la neumática - Gargil*.

Gargil. <https://gargil.es/que-ventajas-e-inconvenientes-tiene-la-neumatica/>

Gexterra. (2024). *La importancia del monitoreo en tiempo real de procesos empresariales con KUYN SUITE*. <https://es.linkedin.com/pulse/la-importancia-del-monitoreo-en-tiempo-real-de-procesos-empresariales-m4pae>

Gobernación Valle del Cauca. (2018). *Actividades económicas del Valle del Cauca*.

Gobernación Valle Del Cauca.

<https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/60165/actividades-economicas-del-valle-del-cauca/>

Goñi, J. L. (2019). 07 Innovaciones tecnológicas, inteligencia artificial y derechos humanos en el trabajo (Goñi Sein). *Universidad Pública de Navarra*.

IDAE. (2022). *Biomasa* | *Idae*. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa>

- Indugevi.sa. (2023). *Tratamiento de aguas residuales en la industria papelera: Retos y soluciones sostenibles | Fábrica de Cartón | Indugevi*. Indugevi.Sa.
<https://indugevi.com/tratamiento-de-aguas-residuales-en-la-industria-papelera-retos-y-soluciones-sostenibles/>
- Ingenio Carmelita S.A. (2023). *Flujo de Procesos*. Ingenio Carmelita.
<https://ingeniocarmelita.com/flujo-de-procesos/>
- Ingenio Sancarlos. (2020). *Fábrica - Ingenio Sancarlos*. Ingenio Sancarlos.
<https://ingeniosancarlos.com.co/procesos/fabrica/>
- Invest Pacific. (2022). *El Valle del Cauca, región apetejada a gracias a su potencial exportador*. Invest Pacific. <https://investpacific.org/noticias-inicio/el-valle-del-cauca-region-apetejada-para-la-agroindustria-gracias-a-su-potencial-exportador/>
- invest pacific. (2023). *Agroindustria en el Valle del Cauca*. Invest Pacific.
- Invest Pacific. (2024). *SMURFIT KAPPA - Invest Pacific*. Invest Pacific.
<https://investpacific.org/case-study/smurfit-kappa/>
- Invest Pacifit. (2018). *Valle ya es potencia en piña, banano y avicultura - Invest Pacific*. Invest Pacifit. <https://investpacific.org/el-valle-del-cauca-en-medios/valle-ya-es-potencia-en-pina-banano-y-avicultura/>
- Johanna, L., Gonzalez, R., Ingeniería, P., Santiago, A., & Cali, D. (2020). Agricultura de precisión en el mundo y en colombia: revisión bibliográfica. *Universidad Del Valle*.
- Kockmann, N. (2014). History of Distillation. *Distillation: Fundamentals and Principles*, 1–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386547-2.00001-6>

- López, G. B., & Velasteguí, L. E. (2021). Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0. *AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 98–115.
<https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.80>
- Min Agricultura. (2022). \$2.000 millones para tecnificación de fincas cafeteras en Valle del Cauca – Agencia de Desarrollo Rural. Min Agricultura. <https://www.adr.gov.co/2-000-millones-para-tecnificacion-de-fincas-cafeteras-en-valle-del-cauca/>
- Min Educacion Nacional. (2022, August 2). *Resolucion 15177* . Min Educacion Nacional.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=127078>
- MinAgricultura. (2022). *Agricultura de precisión, más eficiente y amigable con el campo*. Ministerio de Agricultura. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Agricultura-de-precisi%C3%B3n,-m%C3%A1s-eficiente-y-amigable-con-el-campo.aspx>
- MinCIT. (2023). Perfil: Sector Pulpa, Papel y Cartón. *MinCIT*.
- MinCIT, & INnpulsa Colombia. (2024). *ABC_Zasca*.
- Minery report. (2024). *Monitoreo en tiempo real | Minery Report S.L.*
<https://mineryreport.com/ciberseguridad/glosario/conceptos-generales/termino/monitoreo-en-tiempo-real/>
- MinTic. (2024). *¡La oferta de formación digital gratuita del MinTIC te espera!* MinTic.
<https://www.mintic.gov.co/porta/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/334622:La-oferta-de-formacion-digital-gratuita-del-MinTIC-te-espera>
- Montoya Duque G.I. (2012). El paro de corteros de caña en el Valle del Cauca - Colombia: Una accion colectiva de cara al modelo economico. *Universidad Libre*.
- Parody Zuleta M, & Zapata Sanjuan A. (2018). Agricultura de precisión en colombia utilizando teledetección de alta resolución. *SUELOS ECUATORIALES*, 48, 41–49.

- Planella Isidro. (1983). *Agroindustria y Desarrollo Economico* - Google Books. Planella .
https://www.google.com.au/books/edition/Agroindustria_y_Desarrollo_Economico/oHn-lo48elUC?hl=es&gbpv=1&kptab=overview
- Pre LTDA. (2019). *Frenos neumáticos. Características, principios y aplicación de los frenos neumáticos*. PRE Precision Converting Co. <http://www.pre-ejeexpansible.com/news/definition-of-pneumatic-brakes-features-24242140.html>
- Quintero Esteban. (2023). PL 130-23 Inteligencia Artificial Derecho al Trabajo. *Senado Colombia*, 1–34.
- RAE. (2024). *interfaz* / Definición / Diccionario de la lengua española / RAE - ASALE.
<https://dle.rae.es/interfaz>
- Rivera, A. C., Micaela, D., & Bermúdez, C. (2018). *Riego por goteo*.
https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_riego_por_goteo/libro_riego_por_goteo_2019.pdf
- Rivera Ríos, D. (2019). *Control Automático de la producción de azúcar*.
- Rivulis. (2019). *Riego de caña de azúcar*. Rivulis. <https://es.rivulis.com/crop/cana-de-azucar/>
- Rodríguez Penin, A. (2013). *Sistemas SCADA 3a* (2nd ed.). Marcombo.
- Rubbi, L. N., Rovati, B. B., & Petraglia, A. (n.d.). ¿Perdidos o salvados? El futuro del trabajo frente a la cuarta Revolución Industrial Lost or saved? The future of work in the face of the fourth Industrial Revolution. *Desde Sur*.
<https://doi.org/10.21142/DES-1201-2020-0018>
- Sanchis, R., Romero, J. A., Ariño, / C V, Sanchis, R., Julio, L., Romero, A., Carlos, P., & Latorre, V. A. (2010). Automatización industrial. *Publicacions de La Universitat*

Jaume.

<https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/24182/s31.pdf?sequence=6&is>

Allowed=y

SEIKA Automation. (2019). *Los 5 Niveles de la Automatización Industrial* /. SEIKA

Automation. <https://www.seika.com.mx/5-niveles-de-la-automatizacion-industrial/>

SENA. (2022). *Noticias SENA*. SENA Colombia. [https://www.sena.edu.co/es-](https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=5615)

[co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=5615](https://www.sena.edu.co/es-co/Noticias/Paginas/noticia.aspx?IdNoticia=5615)

Serna Ospina S, Lopez Ramirez L, Garcia Tarapues A, Montes Dominguez E.D, & Molina

Polanco B.E. (2020). *¡adios-al-cortero-impacto-de-la-reconversion-laboral-en-el-*

ingenio-providencia-s. Eidec Editorial.

Siemens. (2018a). *El mejor equipo para el mejor papel. Siemens en Smurfit Kappa*

Colombia - YouTube. Siemens Knowledge Hub.

<https://www.youtube.com/watch?v=Hbzn2t2VBgE>

Siemens. (2018b). *SINAMICS variable frequency drives - Siemens Global*. Siemens.

<https://www.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics.html>

Siemens. (2023). *NEMA Standard Motors - Industry Mall - Siemens USA*. Siemens USA.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Products/10042948>

Siemens Energy. (2020). *SIPAPER Automation Solutions*. Siemens Energy.

[https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/sipaper-](https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/sipaper-automation-solutions.html)

[automation-solutions.html](https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product/sipaper-automation-solutions.html)

Smurfit Kappa. (2021). *Smurfit Kappa Estrategia de la Gente*. Smurfit Kappa.

<https://www.smurfitkappa.com/sv/sustainability/people/people-strategy>

Smurfit Kappa. (2022a). *Smurfit Kappa | Cadena de Custodia*. Smurfit Kappa.

<https://www.smurfitkappa.com/sv/sustainability/impactful-business/chain-of-custody>

Smurfit Kappa. (2022b). *Smurfit Kappa Desarrollo del Talento* . Smurfit Kappa.

<https://www.smurfitkappa.com/sv/people/talent-development>

Smurfit Kappa. (2023a). *Empaques Industriales* . Smurfit Kappa.

<https://www.smurfitkappa.com/cr/products-and-services/industrial-packaging>

Smurfit Kappa. (2023b). *Informe de gestion 2023 y Estados financieros*. Smurfit Kappa.

<https://www.smurfitkappa.com/co/-/m/files/documents---country/colombia/asamblea-de-accionistas/informe-financiero-smurfit-kappa-carton-colombia-2023.pdf?rev=bfeee1f7df874a00955d2ffae73c1b71>

Smurfit Kappa. (2023c). *Smurfit Kappa - Herramientas*. Smurfit Kappa.

<https://www.smurfitkappa.com/mx/innovation/tools>

Tecnicat. (2018). *Automatización Para Molinos de Caña de Azúcar - TECNICAT*. Tecnicat.

<https://www.tecnicat.com.py/molinos-de-cana-de-azucar/>

UNAD. (2020). *Curso Técnico Desarrollo Técnico en Sensores Remotos para Agricultura* -.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://estudios.unad.edu.co/programas-ofertados/desarrollo-tecnico-en-sensores-remotos-para-agricultura>

Universidad del Valle. (2022). *Mediante agricultura de precisión campesinos del Valle*

cultivan cúrcuma - Facultad de Ciencias Naturales y Exactas / Universidad del Valle / Cali, Colombia. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas .

<https://ciencias.univalle.edu.co/noticias-y-actualidad/noticias/item/594-mediante-agricultura-de-precision-campesinos-del-valle-cultivan-curcuma>

Zapata, M., Topón-Visarrea, L., & Tipán, E. (2021). *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*.