

Avances en tecnología agrícola: impacto en el cultivo de arroz en Aguazul, Casanare*

Adriana del Pilar Noguera Torres^a ■ Andrés Leonardo Mogollón Benavides^b ■
Manuel David Niño Mojica^c ■ Cristian Alexis Carreño Ríos^d

Resumen: Uno de los principales desafíos de los agricultores de arroz del departamento de Casanare se relaciona con el cambio climático, esto evidencia la necesidad de garantizar la sostenibilidad de las fuentes hídricas cercanas a sus cultivos para no ver comprometida la producción, teniendo en cuenta que la siembra de arroz por método tradicional requiere de inundación del terreno en las etapas de preparación e inicio de la siembra para garantizar germinación de la semilla. La aplicación de tecnología agrícola en los cultivos de arroz en Casanare contribuye a mejorar la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad de la agricultura, lo cual es crucial para el desarrollo económico y social de la región, así como también puede resultar rentable si se ofrece a los agricultores una alternativa más sostenible y eficiente, con ahorros en costos de insumos, mayor productividad y mejor adaptación a las condiciones locales. El propósito de esta revisión es analizar y evaluar las innovaciones tecnológicas aplicadas en el cultivo de arroz en el departamento de Casanare, identificando cómo estas tecnologías pueden mitigar los desafíos asociados con el cambio climático, especialmente en relación con la sostenibilidad de las fuentes hídricas necesarias para la producción de arroz. El alcance incluye la exploración de métodos innovadores que optimicen el uso de recursos hídricos y reduzcan el impacto ambiental del cultivo de arroz, así como también la identificación de estas tecnologías en el mejoramiento de la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad de la agricultura local, contribuyendo al desarrollo económico y social de la región. A través de esta revisión, se espera ofrecer a los agricultores alternativas

* Artículo de revisión.

a Magíster en gestión de tecnología de información. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Yopal, Colombia.

Correo electrónico: adriana.noguera@unad.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4945-4324>

b Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Correo electrónico: almogollonb@unadvirtual.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1354-5897>

c Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Yopal, Colombia.

Correo electrónico: mdninom@unadvirtual.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8019-9181>

d Estudiante de la Especialización en Automatización Industrial. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Yopal, Colombia.

Correo electrónico: cristian.carreno@unad.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7868-7589>

práticas y sostenibles que les permitan adaptarse mejor a las condiciones climáticas cambiantes y asegurar una producción limpia y responsable.

Palabras clave: arroz; automatización; innovación; siembra; tecnificación

Recibido: 04/06/2024 **Aceptado:** 20/03/2025 **Disponible en línea:** 30/12/2025

Cómo citar: A. del P. Noguera Torres, A. L. Mogollón Benavides, M. D. Niño Mojica, y C. A. Carreño Ríos, «Avances en tecnología agrícola: impacto en el cultivo de arroz en Aguazul, Casanare», Rev. Fac. Cienc. Básicas, vol. 19, n.º 2, pp. 151–171, dic. 2025.

Advances in Agricultural Technology: Impact on rice cultivation in Aguazul, Casanare

Abstract: One of the main challenges faced by rice farmers in the Casanare department is related to climate change, highlighting the need to ensure the sustainability of nearby water sources to avoid compromising their production. This is particularly important because traditional rice cultivation requires flooding the land during the preparation and planting stages to guarantee seed germination. The application of agricultural technology in rice crops in Casanare helps improve efficiency, sustainability, and profitability in agriculture, which is crucial for the economic and social development of the region. It can also be profitable by offering farmers a more sustainable and efficient alternative, with savings in input costs, increased productivity, and better adaptation to local conditions. The purpose of this review is to analyze and evaluate the technological innovations applied in rice cultivation in the Casanare department, aiming to identify how these technologies can mitigate challenges associated with climate change, especially regarding the sustainability of the water sources necessary for rice production. The scope includes exploring innovative methods that optimize water resource use and reduce the environmental impact of rice cultivation, as well as identifying the importance of these technologies in improving the efficiency, sustainability, and profitability of local agriculture, contributing to the economic and social development of the region. Through this review, it is expected to provide farmers with practical and sustainable alternatives that allow them to better adapt to changing climatic conditions and ensure clean and responsible production.

Keywords: Automation; Innovation; Planting; Rice; Technification

Avanços em tecnologia agrícola: impacto no cultivo de arroz em Aguazul, Casanare

Resumo: Um dos principais desafios dos agricultores de arroz do departamento de Casanare está relacionado às mudanças climáticas, o que evidencia a necessidade de garantir a sustentabilidade das fontes hídricas próximas a seus cultivos para não comprometer a produção. Isso se torna ainda mais relevante ao considerar que o método tradicional de plantio de arroz requer a inundação do terreno nas etapas de preparação e início da semeadura para assegurar a germinação da semente. A aplicação de tecnologias agrícolas nos cultivos de arroz em Casanare contribui para melhorar a eficiência, a sustentabilidade e a rentabilidade da agricultura, aspectos cruciais para o desenvolvimento econômico e social da região. Além disso, pode ser economicamente viável se forem oferecidas aos agricultores alternativas mais sustentáveis e eficientes, com redução nos custos de insumos, maior produtividade e melhor adaptação às condições locais. O propósito desta revisão é analisar e avaliar as inovações tecnológicas aplicadas ao cultivo de arroz no departamento de Casanare, identificando

como essas tecnologias podem mitigar os desafios associados às mudanças climáticas, especialmente no que diz respeito à sustentabilidade das fontes hídricas necessárias para a produção. O escopo inclui a exploração de métodos inovadores que otimizem o uso da água e reduzam o impacto ambiental do cultivo, bem como a identificação dessas tecnologias no aprimoramento da eficiência, sustentabilidade e rentabilidade da agricultura local, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social da região. Através desta revisão, espera-se oferecer aos agricultores alternativas práticas e sustentáveis que lhes permitam adaptar-se melhor às condições climáticas em mudança e assegurar uma produção limpa, eficiente e responsável.

Palavras-chave: arroz; automatização; inovação; plantio; tecnificação

Introducción

El arroz es uno de los alimentos más consumidos a nivel mundial y uno de los cultivos más importantes del mundo. Este cereal es la base principal en la dieta de casi la mitad de la población y su importancia va más allá de su valor nutricional, ya que juega un papel crucial en la economía y la cultura de muchas naciones [1]; asimismo es una fuente generadora de empleo desde su proceso de siembra, cosecha y de procesamiento agroindustrial. El arroz representa uno de los cultivos que más contribuye a los gases de efecto invernadero (GEI), cuando se trata de siembra con terreno inundable, pues alcanza cerca del 12 % de las emisiones globales de metano [2]. El cultivo de arroz ocupa 165 millones de hectáreas (ha) a nivel mundial. India es el país con la mayor extensión, 43,7 millones de ha, seguido de China con 31 millones e Indonesia con 14 millones. En el continente americano, la mayor extensión de cultivos de arroz se ubica en Brasil, 2,2 millones de ha, seguido de Estados Unidos con 1,1 millones. Colombia registra una superficie importante de 532 000 ha, es decir, la mitad del terreno sembrado en Estados Unidos [3].

Entre los años 2013 y 2019, Colombia se ubicó en el puesto 22 entre los países productores de arroz paddy seco en el mundo, con un promedio de 2,71 millones de toneladas, y ocupó el puesto 33 en productividad, con unos rendimientos cercanos a 5,09 toneladas por hectárea de este arroz, según datos de la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [4]. La zona de los Llanos Orientales, en comparación con las demás zonas arroceras del país, sobresale por su crecimiento y potencial, y por su gran extensión del cultivo con un sistema seco, lo que conlleva a una alta estacionalidad en la cosecha y, por lo tanto, un techo de productividad promedio del orden de las 4,56 t/ha de paddy verde [4]. Según el DANE, el área sembrada en arroz mecanizado para el 2023 en Casanare fue 589 848 ha, el área cosechada total fue de 568 455 ha y la producción nacional en el año fue de 3 188 267 t [5]. En el informe se señala que Casanare cuenta con el 35 % del área total sembrada, y el municipio de Aguazul representa un 5 % del total de la siembra de arroz mecanizado en la nación.

Estos datos corresponden al total de arroz sembrado bajo la técnica de siembra mecanizada, que es el proceso en el cual se usan máquinas o equipos para realizar una o varias de las etapas correspondientes a la siembra, como puede ser el control de siembra de semillas, la creación de semilleros, el control de parámetros para germinación y crecimiento de plántula, el control del recurso hídrico, la aplicación de agro insumos o el proceso de trasplante a lote, entre otros.

El cambio climático representa uno de los principales desafíos para la producción de arroz a nivel mundial, teniendo presente las variaciones en las temperaturas que se presentan actualmente, en comparación con años anteriores, las sequías son más frecuentes y la irregularidad en las precipitaciones afectan directamente la disponibilidad de agua para riego, componente fundamental para el cultivo de arroz, presentando inconvenientes en las etapas de crecimiento del cereal sembrado por la escasez de agua y la creciente salinización de los suelos que, en términos de rentabilidad, evidencia una reducción significativa de los rendimientos de los cultivos [6].

Esta situación ha llevado a los agricultores en general, no solo cultivadores de arroz, a buscar métodos más eficientes para asegurar su cadena productiva y evitar la disminución en la cosecha, evidenciando la necesidad de adaptarse a condiciones cambiantes, lo que ha impulsado la adopción de tecnologías que les permiten gestionar mejor sus cultivos y recursos. Esto conduce a la agricultura tecnificada, con procesos que incorporan tecnología y herramientas avanzadas para aumentar la producción y optimizar el cultivo [7], haciéndolo más eficiente con el uso de técnicas modernas como invernaderos, sistemas de riego, modificación genética, uso de dispositivos electrónicos de medición, entre otros [8].

La búsqueda de soluciones para mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse a sus desafíos ha impulsado la adopción de tecnologías innovadoras en el sector agrícola. A medida que las condiciones climáticas continúan evolucionando, la tecnificación se convierte en una herramienta esencial para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad del sistema agrícola global. En

términos de cultivos de arroz, los factores climáticos que afectan el crecimiento, el macollamiento, la formación de espigas y la maduración, y la producción de grano son la temperatura, la radiación solar y la disponibilidad de agua. Por esta razón, el mejoramiento genético de la especie se ha concentrado en desarrollar nuevas variedades que puedan adaptarse a diferentes rangos de temperatura, intensidad de luz y condiciones de estrés hídrico, que le permitan expresar libremente su potencial genético no solo en términos del rendimiento, sino también respecto a la capacidad de respuesta frente a plagas y enfermedades que limitan el cultivo [9]. La tecnificación agrícola en los cultivos de arroz ha sido un proceso continuo que ha buscado adaptarse a los desafíos globales de producción y sostenibilidad. En Colombia, instituciones como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI) representan un papel fundamental en la investigación y desarrollo de nuevas técnicas y variedades en conjunto con Fedearroz, como se evidencia en el programa de Adopción masiva de tecnología AMTEC, modelo de transferencia que se enfoca en la asistencia tecnificada para las fincas arroceras con el propósito de que las personas en estas producciones estén informadas sobre las nuevas tecnologías, bien sea en agro insumos, estrategias de siembra, maquinarias, herramientas, entre otros métodos de técnicas aplicables al cultivo [10].

Al implementar la tecnificación agrícola en el cultivo de arroz, es fundamental tener en cuenta tanto las características específicas del terreno como las condiciones ambientales de la región. Cada región presenta variaciones en su composición, estructura y capacidad de retención de agua, mientras que factores como el clima, la temperatura, la humedad y la disponibilidad de luz también influyen significativamente en la producción. Adaptar las prácticas tecnológicas a estas condiciones locales no solo optimiza el uso de insumos, sino que también promueve la sostenibilidad del ecosistema agrícola. Por lo tanto, un enfoque contextualizado que considere tanto el terreno como el entorno ambiental es esencial para maximizar los beneficios de la tecnificación y garantizar una

producción agrícola eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Innovaciones tecnológicas en el cultivo de arroz a nivel nacional

El cultivo de arroz, uno de los principales alimentos básicos a nivel nacional y global, ha experimentado una transformación significativa en las últimas décadas gracias a la incorporación de innovaciones tecnológicas. Estos avances no solo han permitido aumentar la productividad y eficiencia de los cultivos, sino que también han contribuido a la sostenibilidad agrícola frente a desafíos como el cambio climático, la escasez de recursos hídricos y la necesidad de preservar la biodiversidad [11]. A medida que la demanda de arroz sigue creciendo, es crucial explorar y adoptar nuevas técnicas y herramientas que optimicen el cultivo, mejoren la calidad del grano y promuevan prácticas agrícolas más responsables [12]. A continuación, se revisarán las principales innovaciones tecnológicas en el cultivo de arroz, analizando su impacto en la producción y el desarrollo sostenible del sector.

En Colombia, la producción de arroz enfrenta retos significativos desde la variabilidad climática hasta la presión de plagas y enfermedades. Para abordar estos desafíos y garantizar la seguridad alimentaria, se han desarrollado diversas variedades de arroz mejoradas que buscan maximizar la productividad y la resiliencia del cultivo [13]. Estas variedades, resultado de investigaciones científicas y programas de mejoramiento genético no solo ofrecen mayores rendimientos, sino que también están diseñadas para adaptarse a diferentes condiciones agroecológicas del país. Desde híbridos de alto rendimiento hasta variedades biofortificadas, estas innovaciones representan un avance crucial en la búsqueda de un cultivo más sostenible y nutritivo, adaptado a las necesidades de los agricultores colombianos y de la población en general. Es por esto que la Federación Nacional de Arroceros Fedearroz, en su esfuerzo permanente por ofrecer nuevas alternativas que mejoren las condiciones de producción en el sector arrocero, ha venido fortaleciendo su portafolio de semillas certificadas, productos para la protección del cultivo y arroz

blanco, entre las que sobresalen Fedearroz 68, Fedearroz 70, Fedearroz 2000 y 2022, de amplia adaptabilidad y estabilidad en ambos semestres, de ciclo corto y macollamiento intermedio / alto [14].

Otra de las innovaciones tecnológicas se relaciona con los sistemas de geolocalización que están revolucionando el desarrollo de cultivos de arroz mediante el uso de tecnologías avanzadas. Herramientas como GPS y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten a los agricultores mapear sus parcelas y gestionar recursos de manera más eficiente [15]. Además, el uso de drones equipados con cámaras y sensores proporciona monitoreo en tiempo real sobre la salud de los cultivos y la detección de plagas [16]. Las imágenes satelitales ofrecen análisis detallados del crecimiento y condiciones del suelo, mientras que aplicaciones móviles facilitan el seguimiento y la gestión basada en la ubicación. Asimismo, los sensores de campo optimizan el riego al monitorear humedad y temperatura del suelo. Estas innovaciones no solo aumentan la productividad, sino que también promueven prácticas agrícolas sostenibles, ayudando a los agricultores a enfrentar desafíos ambientales y a mejorar el rendimiento de sus cultivos.

En términos del uso responsable del agua, la implementación de sistemas de riego eficiente en los cultivos de arroz ha sido fundamental para optimizar el uso de este recurso y mejorar la productividad agrícola. Tecnologías como el riego por goteo y el riego por aspersión han permitido hacerlo más preciso, minimizando el desperdicio de agua, lo cual se refleja en su adaptación a las condiciones climáticas variables del país [17]. Además, el uso de riego controlado, que se basa en monitorear la humedad del suelo, asegura que las plantas reciban la cantidad exacta de agua que necesitan en cada etapa de su desarrollo [18]. Estas prácticas no solo aumentan los rendimientos y la calidad del grano, sino que también contribuyen a la sostenibilidad del cultivo, ayudando a enfrentar la escasez de agua y promueven un manejo más responsable de los recursos hídricos en el sector agrícola.

Otra de las innovaciones tecnológicas que ha presentado crecimiento significativo es la agricultura de precisión y conservación, que ha emergido como una estrategia clave en los cultivos de

arroz en Colombia, permitiendo a los agricultores optimizar el uso de recursos y mejorar la sostenibilidad de sus prácticas. Mediante el uso de tecnologías como sensores de campo, drones y sistemas de información geográfica, los productores pueden monitorear con precisión las condiciones del suelo, la humedad y la salud de los cultivos, lo que les permite tomar decisiones informadas y específicas para cada parcela [19]. Al mismo tiempo, la agricultura de conservación promueve técnicas como la reducción de labranza y el uso de coberturas vegetales, y ayuda a preservar la calidad del suelo y la biodiversidad [20]. Estas prácticas no solo aumentan la productividad y la eficiencia en el cultivo de arroz, sino que también contribuyen a la mitigación del cambio climático y a la conservación de recursos naturales, asegurando un futuro más sostenible para la agricultura en el país.

El uso de plataformas digitales y aplicaciones en los cultivos de arroz está transformando la manera en que los agricultores gestionan sus fincas, brindando acceso a información y herramientas que optimizan la producción. Estas plataformas permiten el monitoreo en tiempo real de las condiciones del cultivo, el clima y el suelo, así como el análisis de datos históricos que ayudan en la toma de decisiones informadas [21]. Además, las aplicaciones móviles facilitan la planificación del riego, el control de plagas y la gestión de insumos, promoviendo prácticas más eficientes y sostenibles; de esta forma, los agricultores pueden aumentar la productividad, reducir costos y mejorar la calidad del grano, lo que se traduce en beneficios económicos y un manejo más responsable de los recursos.

También se tiene la siembra mecanizada de cultivos de arroz, que permite una mayor eficiencia y productividad en el sector. Esta técnica utiliza maquinaria especializada como sembradoras y tractores que optimizan el proceso de siembra y reducen el tiempo y el esfuerzo necesarios en comparación con métodos tradicionales [22]. La siembra mecanizada asegura una distribución uniforme de las semillas, lo que promueve un crecimiento homogéneo y mejora la cosecha. Además, al disminuir la dependencia de mano de obra manual, se enfrenta la escasez de trabajadores en el campo y se minimizan los costos operativos. Esta modernización

no solo impulsa la competitividad de los agricultores, sino que también contribuye a la sostenibilidad del cultivo, pues permite un mejor manejo del suelo y los recursos.

Las innovaciones tecnológicas en el cultivo de arroz a nivel nacional han transformado significativamente la producción agrícola, brindando herramientas que aumentan la eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad del sector. Desde la implementación de variedades mejoradas y sistemas de riego eficientes hasta el uso de tecnologías de precisión y plataformas digitales, estas innovaciones han permitido a los agricultores enfrentar desafíos como el cambio climático, la escasez de recursos hídricos y las demandas del mercado, incluso han dado respuesta a la poca mano de obra en este sector. Además, la adopción de técnicas como la siembra mecanizada y la agricultura de conservación no solo optimiza el rendimiento de los cultivos, sino que también promueve un manejo responsable de los recursos naturales. En este contexto, la continua inversión en investigación y desarrollo será fundamental para seguir impulsando el crecimiento y la sostenibilidad del cultivo de arroz en el país, asegurando así la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades agrícolas.

Impacto de los avances tecnológicos en la productividad y eficiencia en Casanare

Los avances tecnológicos en el cultivo de arroz en Casanare han tenido un impacto significativo de la productividad y eficiencia agrícola de la región. Los desarrollos de Fedearroz para generar variedades mejoradas y sus respectivas certificaciones han permitido a los agricultores obtener mayores rendimientos y mejorar la calidad del grano, lo que se traduce en beneficios económicos. Además, el uso de sistemas de riego más eficientes ha optimizado el consumo de agua, vital en una región donde este recurso puede ser limitado.

En algunos casos se han implementado técnicas de agricultura de precisión, como el uso de drones y sensores, los cuales han facilitado el monitoreo constante de las condiciones del cultivo, permitiendo tomar decisiones informadas sobre

fertilización, riego y control de plagas, a pesar de que la conectividad en algunas zonas del departamento no garantiza una correcta aplicación de estos sistemas. El uso de drones ha favorecido las labores de banderilleo satelital, plano altimétrico y caballoneo satelital, incrementado la precisión en sus labores de adecuación de suelos, disminuyendo considerablemente el tiempo que implicaba realizarlas [23]. Asimismo, la siembra mecanizada ha reducido el tiempo y esfuerzo necesarios para establecer los cultivos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos.

Para el caso de la finca La Pedregosa, ubicada en el municipio de Aguazul, Casanare, se tiene implementada la técnica de siembra mecanizada para la creación de semilleros y para el proceso de trasplante a lote. En lo concerniente a este, se utiliza una máquina trasplantadora de arroz Kubota SPV-6CMD, que garantiza una siembra unificada en terreno con líneas de plántulas de arroz de 30 cm cada una y distancia entre surcos entre 10 y 24 mm, según necesidad [24], que corresponde a la imagen presentada en la figura 1.

Figura 1. Máquina trasplantadora de arroz Kubota SPV-6CMD en proceso



Fuente: elaboración propia.

En el proceso de creación de semilleros, en la finca La Pedregosa se implementó una máquina con creación empírica adaptada a las condiciones del territorio en el cual se ubica el cultivo. La versión original de esta máquina es la sembradora de arroz paddy Kubota SR-K800CN (ver figura 2),

pero no es 100 % funcional, teniendo en cuenta las condiciones de la finca y de la región, como las altas temperaturas; además no cuenta con un espacio cerrado para ubicación de la máquina

dejándola expuesta al polvo, agua y fauna propia de esta región, razón por la cual se requiere de una adaptación tecnológica para que garantice funcionalidad en las condiciones del predio.

Figura 2. Máquina sembradora de arroz Kubota SR-K800CN



Fuente: SR-K800. Kubota Machinery Indonesia. <https://kubota-kmi.co.id/sr-k800/>

La implementación de esta técnica se conoce como sistema intensificado de cultivos de arroz (SRI por sus siglas en inglés), que garantiza una mejora significativa en términos de rendimiento y menor consumo de recursos en el cultivo, al tiempo que garantiza un porcentaje más alto en términos de germinación de la semilla utilizada, comparado con el proceso de siembra tradicional.

Según un estudio realizado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Centro de Gestión del Conocimiento y Cooperación Horizontal, el SRI aborda varios desafíos clave planteados por los métodos de producción convencionales actuales en América Latina y el Caribe, dentro de los cuales se incluye la baja productividad, el alto uso de insumos (reconociendo como insumos de este proceso las semillas, el agua y los diferentes agroquímicos requeridos en los 120 días que representan un cultivo de arroz) y la vulnerabilidad climática, dado que en esta región el cambio climático ha requerido de mayor atención en el uso del recurso hídrico para su preservación [25].

Caso de éxito: sistema de siembra mecanizada finca La Pedregosa

El proceso de siembra por trasplante mecanizado comienza con el proceso de preparación del terreno que, para el caso de la finca La Pedregosa, corresponde a un total de 22 ha distribuidas en 11 piscinas o áreas independientes de siembra como se observa en la figura 3.

Figura 3. Finca La Pedregosa sector Pocetas (área 22 ha – 11 Piscinas de siembra)



Fuente: elaboración propia.

Para el proceso de siembra se tienen cinco pasos que corresponden a:

Tabla 1. Etapas del proceso de siembra de arroz finca La Pedregosa, Aguazul, Casanare [26]

No.	Fase	Descripción
1	Preparación del sustrato	En la preparación del sustrato, se incluye el alistamiento del terreno; dos veces al año se realiza la siembra. Se utiliza DISAN INICIO 12-24-12-4(S), mezcla natural fertilizante NPK compuesto por nitrógeno, fósforo, potasio y azufre [27].
2	Preparación para las bandejas y semillas	Las bandejas usadas tienen una dimensión de 55×30×3 cm y son construidas en polipropileno. Estas bandejas reciben dos capas de tierra con sustrato y una capa de semilla con riego de agua, para que la bandeja tenga la humedad requerida para la germinación. Por bandeja se pueden cultivar hasta 300 semillas y por hectárea se logra obtener cerca de 48 kilos de siembra.
3	Creación del semillero	El semillero se crea con una máquina adaptada a las necesidades del cultivo y condiciones del entorno de la finca. Esta máquina consta de un motor AC a 110 V, de 1 HP que opera a 1800 rev/min, conectado por medio de un sistema de 6 poleas a una banda transportadora que permite el flujo de las bandejas a través de la máquina, obteniendo finalmente una velocidad de 60 rev/min. Se pueden obtener 19 bandejas por minuto y consta de 3 góndolas de acero para la distribución de las dos capas de sustrato y una de semilla, y cuenta con un tubo agujerado para el suministro de agua a las bandejas mientras se trasladan a lo largo de la máquina.
4	Periodo de incubación	Una vez organizadas las bandejas, durante una semana se mantienen apiladas cubiertas con un plástico garantizando una temperatura promedio de 35° C para la germinación. Luego de esta semana se trasladan a un espacio organizado como invernadero para mantener las bandejas bajo control de agua y fungicidas por un tiempo aproximado de 25 días y al final obtener un tapete de plántulas de arroz de aproximadamente 15 cm de alto de cada bandeja sembrada.
5	Trasplante de plántulas	Bajo las condiciones esperadas, se prepara el terreno para el trasplante mecanizado de las plántulas por medio de la máquina.

Fuente: elaboración propia.

El proceso de alistamiento de la máquina se toma alrededor de dos días de trabajo, ya que esta, en temporada de cosecha y adecuación de terreno, permanece en almacenamiento en condiciones ambiente de la finca. El alistamiento incluye la revisión de conexiones eléctricas del motor, revisión de encauchados de conexión de las poleas y la banda transportadora; si se requieren cambios, se procede para garantizar el correcto funcionamiento en la operación.

Asimismo, se revisa el estado de las góndolas de almacenamiento de sustrato y semilla para garantizar asepsia y que no haya pérdida de materia prima requerida. Se realizan pruebas del tubo de agua para el sistema de riego interno y de las mangueras de flujo de agua a la máquina. Una vez garantizado el correcto estado de los elementos que la componen, se realizan pruebas operativas para garantizar correcto funcionamiento, tiempos de operación esperados para la obtención de bandejas, correspondiente a un aproximado de una bandeja cada cuatro segundos, como se observa en la figura 4.

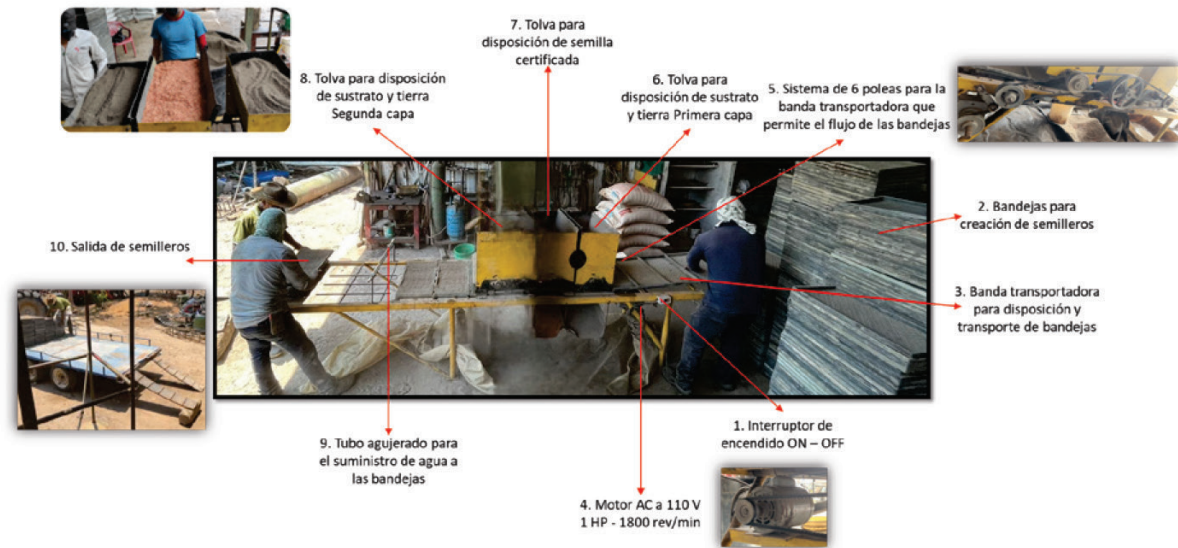
En este proceso se requiere un mínimo de cinco (5) personas para garantizar que la operación se realice en los tiempos esperados; las personas se encargan de mantenimiento y puesta a punto; en proceso de obtención de semilleros, se encargan de garantizar bandejas sobre la banda transportadora, sustrato y semillas en las góndolas, suministro de agua en el sistema de riego y remoción de las bandejas sembradas en el espacio de acopio destinado.

Una vez cumplido el tiempo de almacenamiento bajo plástico, las bandejas son extendidas en el espacio destinado como invernadero, donde de manera controlada se garantiza abastecimiento tanto de agua como de agro insumos que se requieren en el proceso de siembra; en este espacio se alcanza un tiempo de 30 días aproximadamente, el objetivo es lograr un tapete de plántulas de arroz con una altura de 12 a 15 cm. En la figura 5 se observa el proceso de germinación de la semilla; al costado izquierdo se evidencia el tendido de las bandejas para iniciar proceso, y al costado derecho ya se encuentra las plántulas obtenidas de las semillas germinadas y próximas a retiro en tapete para trasplante.

Finalmente, cuando se logra la altura esperada, se reúnen los tapetes y se ubican en la máquina trasplantadora Kubota para el respectivo proceso

de trasplante en tierra, después de 80 a 85 días, se obtiene la cosecha esperada, como se evidencia en la figura 6.

Figura 4. Alistamiento y puesta a punto de la máquina para creación de semilleros



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Germinación de semilleros en invernadero



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Proceso de trasplante mecanizado de arroz de semilleros a lote



Fuente: elaboración propia.

Este proceso de adaptación tecnológica en la producción de arroz en la finca La Pedregosa se basa en el ODS 12, que busca garantizar una producción y consumo responsables, teniendo en cuenta los cuatro principios que se centran en la adaptación del manejo de cultivos, agua, suelo y nutrientes y, puntualmente, busca la implementación de técnicas productivas enfocadas en el aprovechamiento de recursos naturales sin afectar el medio ambiente [28].

Este proceso ha garantizado que la finca La Pedregosa y su agricultor tengan el sello de producción verde emitido por Corporinoquia. En esta producción se promueve el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales disponibles en la finca, se evidencia la conservación del afluente hídrico y del terreno en términos de productividad. Además, se logra un uso eficiente del 80 % de los recursos sembrados, lo que se traduce en una cosecha equivalente al 80 % de lo cultivado.

Figura 7. Cultivo de arroz tecnificado con 50 días de trasplantado



Fuente: elaboración propia.

La cosecha obtenida (ver figura 7) fue analizada en el laboratorio de Fedearroz, seccional Aguazul, para verificación de características molineras del producto; se evidencia que se encuentra en condiciones de calidad y es viable para entrega a molino y tratamiento correspondiente [29]. Esta valoración de las características molineras es crucial para garantizar la calidad del producto, la competitividad en el mercado, la eficiencia del procesamiento y el éxito económico de los actores en la cadena de suministro de arroz, que continuaría con el molino, al cual se ofrece o compromete la cosecha esperada [30].

Analizando los beneficios del cultivo en términos ambientales y agrícolas, se ahorra entre un 20 y 50 % del agua a usar en todo el proceso de siembra, ya que, al usar semilleros, la inundación total y continua resulta innecesaria; también se reduce el uso de agroquímicos y la cantidad de semillas necesarias para el establecimiento del cultivo, que tiende a disminuir al tener una siembra y germinación controlada. Esto se traduce en raíces más fuertes, grandes y profundas, con mayor soporte y capacidad exploratoria para hallar agua y nutrientes y a la vez aumenta la calidad de los suelos y se mejora la nutrición de las plantas mediante la aplicación de materia orgánica.

Este caso exitoso permite resaltar el impacto económico que tiene el desarrollo de la maquinaria para uso agrícola, aprovechando el conocimiento que se tiene sobre el proceso de cultivo y la tecnología proveniente de los países más desarrollados; se apropian los conceptos de modo que se puedan realizar modificaciones en la construcción de maquinaria que permita mejorar el rendimiento para el cultivo de arroz en la región, disminuir costos provenientes de su adquisición e incentivar la producción de herramientas tecnológicas de manera local.

En este momento, en la finca La Pedregosa, en Aguazul Casanare, se inicia un proceso de monitoreo de esta tecnificación del cultivo de arroz con el fin de evaluar constantemente los resultados obtenidos en cada proceso de siembra y cosecha para realizar ajustes según sea necesario, ya sea en la máquina o en la forma de desarrollar cada etapa. De esta forma, se busca fomentar un ciclo de retroalimentación constante entre el agricultor de la

finca y los extensionistas para mejorar continuamente las prácticas agrícolas.

Desafíos y barreras para la adopción de tecnologías avanzadas

La adopción de tecnologías avanzadas en los cultivos de arroz en Casanare enfrenta varios obstáculos que limitan su implementación efectiva. Uno de los principales es la falta de acceso a financiamiento, lo que impide que muchos agricultores puedan invertir en maquinaria moderna y tecnologías de precisión [31], situación que no solo se presenta en este departamento sino a nivel nacional. Además, la capacitación insuficiente sobre el uso y manejo de estas tecnologías puede generar resistencia al cambio, ya que algunos productores temen no poder operarlas correctamente.

Otro desafío significativo es la infraestructura deficiente en áreas rurales, que dificulta la distribución de insumos tecnológicos y el acceso a servicios de asistencia técnica. La conectividad en la zona también es un problema crítico; la falta de acceso a internet de alta calidad limita el uso de plataformas digitales y aplicaciones que podrían facilitar la gestión de cultivos y la toma de decisiones informadas. Esto crea una brecha en la capacidad de los agricultores para beneficiarse de innovaciones tecnológicas y mantenerse actualizados con las mejores prácticas agrícolas.

Además, la variabilidad climática y las condiciones agroecológicas específicas de la región pueden hacer que ciertas tecnologías no sean igualmente efectivas para todos los agricultores, generando dudas sobre su viabilidad. La cultura agrícola tradicional también juega un papel importante, ya que muchos productores están acostumbrados a métodos convencionales y pueden mostrar resistencia a adoptar nuevas prácticas. Por último, la falta de información clara y accesible sobre los beneficios y el retorno de inversión de las tecnologías avanzadas puede limitar su aceptación. En conjunto, estos desafíos requieren atención y estrategias adecuadas para fomentar una adopción más amplia y efectiva de tecnologías en el sector arrocero de Casanare.

Conclusiones

La tecnificación de un cultivo de arroz implica la aplicación de tecnologías y prácticas avanzadas, y puede proporcionar una serie de beneficios en los cultivos, entre ellos el aumento en la productividad, la eficiencia del uso del agua, el manejo preciso de nutrientes, la reducción de riesgos climáticos y la mejora en la calidad del grano; todo esto con prácticas agrícolas sostenibles que reducen el uso excesivo de recursos, minimizan el impacto ambiental y mejoran la gestión de residuos agrícolas.

Es importante resaltar que, aunque existen en el mercado mundial máquinas y equipos que se encargan de estos procesos, la realidad de las condiciones ambientales de los cultivos de arroz no garantiza un correcto funcionamiento de estos sistemas, razón por la cual es necesario aplicar tecnología, pero sin desconocer las condiciones del territorio. Así como tampoco, aunque se desea mejorar la tecnificación del proceso y aplicar tecnología de punta en el mismo, se debe desconocer la ubicación geográfica del cultivo, las condiciones ambientales y climáticas de la región y la adaptación de tecnologías emergentes en esta región del país que, aunque ha mejorado considerablemente en los últimos años, aun no es apta para garantizar conectividad y adaptación tecnológica en los diferentes procesos que se presentan en esta región.

Algunas tecnologías, como los invernaderos y sistemas de control climático pueden ayudar a proteger los cultivos de arroz contra condiciones climáticas extremas, tales como lluvias intensas, sequías o temperaturas extremas.

Estos avances no solo han aumentado la productividad, sino que también han contribuido a prácticas más sostenibles, favoreciendo la conservación del suelo y el uso responsable de insumos. En conjunto, el impacto de estas innovaciones tecnológicas en Casanare ha sido positivo, pues ha fortalecido la competitividad del sector arrocerero y ha mejorado las condiciones de vida de los agricultores.

Para maximizar el potencial de la tecnificación agrícola en el cultivo de arroz, es fundamental que se implementen políticas públicas que fomenten la capacitación, el acceso a financiamiento y la mejora de la infraestructura agrícola. Estas acciones son esenciales no solo para apoyar a los agricultores en la adopción de nuevas tecnologías, sino también para promover un desarrollo agrícola sostenible y resiliente en el contexto del cambio climático.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y al grupo de investigación GIDESTEC por el tiempo autorizado para el acompañamiento y apoyo tecnológico a la finca La Pedregosa en Aguazul, Casanare, lugar donde se desarrolla este proyecto de investigación, encaminado a la verificación de las características molineras de cultivos de arroz con procesos de siembra tecnificada. De igual forma, se agradece a Rubén Torres Cruz, quien facilitó el desarrollo de estos procesos investigativos en los predios de la finca y brindó los conocimientos que tiene sobre cultivos de arroz y tecnificación de estos.

Referencias

- [1]. DFGRUPO, “La importancia mundial del arroz”, <https://www.dfgrupo.com/la-importancia-mundial-del-arroz/>
- [2]. IDEAM, “Intensidad de emisiones por unidad de producto para la producción de arroz en Colombia”, 2021.
- [3]. UPRA, “UPRA - Plan de ordenamiento productivo del arroz en Colombia 2020 - 2038”, https://upra.gov.co/es-co/Documents/01_Proyectos_Normativos/202001_ARROZ%20VERIFICADO%20CLIENTE%20nov19_20201215_V2.pdf
- [4]. R.I. Parra-Peña, S. Flórez, D. Rodríguez “La competitividad de la cadena de arroz en Colombia. Un compromiso con el bienestar del agricultor”, <https://www.andi.com.co/Uploads/Estudio%20Completo.pdf>
- [5]. DANE, “Quinto Censo Nacional Arrocerero (5° CNA 2023)”, [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-arrocerero#:~:text=Quinto%20Censo%20Nacional%20Arrocerero%20\(5,fue%20de%203.188.267%20toneladas..](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-arrocerero#:~:text=Quinto%20Censo%20Nacional%20Arrocerero%20(5,fue%20de%203.188.267%20toneladas..)
- [6]. IFPRI, “Cambio Climático - El impacto en la agricultura y los costos de adaptación”, https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf

- [7]. AgroGM, “Agricultura tecnificada: el equilibrio perfecto con el medio ambiente”, <https://www.agrogm.com/frutos-rojos/agricultura-tecnificada-el-equilibrio-perfecto-con-el-medio-ambiente/#:~:text=Se%20considera%20como%20agricultura%20tecnificada,el%20cultivo%2C%20haci%C3%A9ndolo%20m%C3%A1s%20eficiente..>
- [8]. CROPER, “Colombia Avanza Hacia la Tecnificación de sus Cultivos de Corto Plazo”, 2023. <https://blog.croper.com/colombia-avanza-hacia-la-tecnificacion-de-sus-cultivos-de-corto-plazo/>.
- [9]. J. P. Vargas, “El arroz y su medio ambiente”. *Producción ecoeficiente del arroz en América Latina*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2010. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/71248>.
- [10]. Federación Nacional de Arroceros Fedearroz, “Qué es AMTEC”, 2014. <https://fedearroz.com.co/es/fondo-nacional-del-arroz/transferencia-de-tecnologia/amtec>
- [11]. J. Sánchez, “Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad”, 2019. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016-b753fdd3b659/content>.
- [12]. FONTAGRO, “Avanzando hacia un manejo más sostenible en el cultivo del arroz”, 2017. <https://www.fontagro.org/new/proyectos/mas-arroz-menos-agua/es>.
- [13]. FAO, “FAO - Comité de seguridad alimentaria mundial”, 2016. [En línea]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fa6fc71f-d01d-413e-be36-d1805521e494/content>.
- [14]. Federación Nacional de Arroceros FEDEARROZ, “Semilla certificada”, 2020. <https://fedearroz.com.co/es/nuestros-productos/semilla-certificada/>.
- [15]. EOS Data Analytics, “EOS - SIG en la agricultura: mejores prácticas en el sector”, 2024. <https://eos.com/es/blog/sig-en-la-agricultura/>.
- [16]. HOBBYTUXTLA, “Monitoreo de cultivos con drones: Maximizando la productividad agrícola con la tecnología”, 2023. <https://www.hobbytuxtla.com/monitoreo-cultivos-drones/>.
- [17]. FAO, “Tecnologías para el uso sostenible del agua”, 2017. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf.
- [18]. INTAGRI, “El riego, la importancia de su programación y los parámetros de humedad en el suelo”, 2017. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>.
- [19]. A. González, G. Amarillo, M. Amarillo y F. Sarmiento, “Publicaciones E Investigación - Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión”, *Publicaciones e investigación*, vol. 10, 2016. <https://doi.org/10.22490/25394088.1585>
- [20]. FAO, “Agricultura de conservación”, 2018. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/>
- [21]. ALFAIOT, “IOT y agricultura de precisión: tecnología para la gestión agrícola”, 2024. <https://alfaiot.com/actualidad-iot/iot-y-agricultura-de-precision-tecnologia-para-la-gestion-agricola/>.
- [22]. FAO, “Agricultura 4.0 Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible”, 2020. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1d748bb5-2c0c-4daf-b640-14b6544c3d02/content>.
- [23]. Federación Nacional de Arroceros FEDEARROZ, “Noticias”, 2015. <https://fedearroz.com.co/es/noticias/2015/08/11/dia-de-campo-en-mani-casanare-sobre-agricultura-de-precision/>.
- [24]. Diesel KUBOTA, “Trasplantadora de arroz KUBOTA SPV-6CMD”, <https://dieselskubota.com.co/productos/trasplantadora-de-arroz-kubota-spv-6cmd/>
- [25]. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), “Banco de buenas prácticas - el sistema de intensificación del arroz (SRI) - Contribuir a la seguridad alimentaria, la competitividad y la resiliencia mediante la adaptación del SRI a los contextos locales”, 2020.
- [26]. A. Noguera Torres, C. González Santos y A. Mogollón Benavides, “Adaptación tecnológica en cultivos de arroz para incrementar la productividad bajo el sistema intensivo de cultivo SRI en la finca la pedregosa en el municipio de Aguazul – Casanare”, *Documentos De Trabajo ECBTI*, 2023.
- [27]. DISANAGRO, “DISAN INICIO 12-24-12-4(S)”, 2020. <https://www.disanagro.com/tienda/colombia/disan-inicio-12-24-12-4s/>.
- [28]. Naciones Unidas, “ODS - Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>.

- [29]. Fedearroz Seccional Aguazul, “Informe de resultados de ensayos de Laboratorio - Arroz Ruben Torres”, 2022.
- [30]. J. A. Hernández Quiñónez, S. A. Salazar Mercado y E. A. Rodríguez Araújo, “Efecto de los elementos menores en la calidad molinera del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad F-2000”, *MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering*, vol. 11, 2021.
- [31]. S. Romero Vanegas, S. A. Villamizar Lozano y A. M. Flórez Flórez, “Análisis de los principales desafíos del sector agropecuario colombiano para la transición a tecnologías de conectividad de la industria 4.0”, 2024.

