

# Hacia una agricultura de precisión en el cultivo del arroz



FEDEARROZ
FONDO NACIONAL DEL ARROZ

AMTEC
Adopción Masiva de Tecnología

FEDEARROZ
FONDO NACIONAL DEL ARROZ

AMTEC
Adopción Masiva de Tecnología

# HACIA UNA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN EL CULTIVO DEL ARROZ

Myriam Patricia Guzmán G., IA, M.Sc.
Luis Armando Castilla Lozano, IA, M.Sc., Ph.D.
Ximena Blanco Rodríguez, I.A
Henry Morales Montaña, I.A
Darío Pineda Suarez, I.A, M.Sc
Nilson Alfonso Ibarra Becerra, I.A
Jorge Luque Leandro, IAgric.
Juan Carlos Díaz, I.A
Yeimy Carolina Tirado Ospina, I.A

FEDEARROZ - Fondo Nacional del Arroz

Noviembre 2018

Editor: Iván Camilo Ávila C.
Myriam Patricia Guzmán G.

# CONTENIDO


INTRODUCCIÓN ..... 4
OBJETIVOS ..... 6

1. Fedearroz a la vanguardia de la agricultura de precisión ..... 7
2. Ventajas ..... 8
3. Imágenes satelitales ..... 9
4. Uso de drones en el cultivo de arroz ..... 24
5. Riego de precisión ..... 29
6. MIRI – riego para arroz por múltiples entradas ..... 29
7. Monitores de siembra ..... 31
8. Sensores de rendimiento ..... 35
9. Otras tecnologías para la agricultura de precisión ..... 38

CONCLUSIONES ..... 41
RECOMENDACIONES ..... 42
BIBLIOGRAFIA ..... 43

# INTRODUCCION

En agronomía la variabilidad espacial del suelo y de los rendimientos de los cultivos ha sido reconocida desde los inicios de la agricultura, siendo considerado los campos agrícolas como homogéneos sin tener en cuenta dicha variabilidad espacial y temporal de la producción ni el análisis de las causas de esta. Para ello se ha venido desarrollando una nueva tecnología llamada Agricultura de Precisión (AP), con esta herramienta se permite medir y manejar la variabilidad espacial para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental.

Existen numerosas prácticas o actividades de manejo consideradas parte de la AP, estas prácticas son realizadas a través de diferentes tecnologías dependiendo de la necesidad del cultivo y el objetivo que se quiera lograr. Las ventajas de la agricultura de precisión sobre la tradicional son claras y contundentes debido a la posibilidad de utilizar herramientas que ayuden a caracterizar la heterogeneidad de los lotes y hacer un manejo agronómico específico por sitio, haciendo más eficiente las aplicaciones y lo que el cultivo requiera. Para ello se utilizan herramientas tecnológicas como el posicionamiento global, dispositivos de distribución de riego, fertilizantes y plaguicidas variables, sensores de clima y rendimiento; la información es plasmada en mapas digitales sobre los cuales se toman decisiones de manejo.

Según Plant (2001), el uso de la agricultura de precisión está sujeto a los beneficios económicos y define tres criterios para que esto se cumpla:

• Que la variabilidad de los factores dentro del área de cultivo influyan en la producción final.

• Que las causas de la variabilidad puedan ser identificadas

• Que la información obtenida pueda ser usada para mejorar las prácticas de manejo del cultivo y mejorar la productividad.

Fedearroz –Fondo Nacional del Arroz con la experiencia positiva del programa AMTEC y siempre a la vanguardia de la tecnología buscando incorporar nuevas tecnologías que permitan innovar para lograr la competitividad y la sostenibilidad del cultivo de arroz, está implementando dentro de áreas de siembra de productores el desarrollo de la agricultura de precisión (AP), así como la inclusión de herramientas que permita una mejor toma de decisiones agronómicas dentro del cultivo para lograr alcanzar un mayor potencial productivo; una de estas tecnologías es el manejo diferencial por ambiente en contraste con el manejo tradicional basado en promedios, en esta cartilla se presentan las diferentes herramientas que se han venido evaluando a lo largo de 5 años de investigación en este tema y las que se podrían tener en un futuro cercano, consolidando con excelentes resultados, que la Agricultura de Precisión en el cultivo del arroz es una gran alternativa para logar la productividad, competitividad y sostenibilidad económica y ambiental.

# OBJETIVOS

Contribuir al incremento de la producción con eficiencia, trazabilidad y sustentabilidad a través de la generación y difusión de información y metodologías para el manejo del cultivo del arroz promoviendo su adopción.

Caracterizar mediante el uso de herramientas de Agricultura de Precisión la variabilidad espacial en los lotes de arroz, en busca de alternativas que ayuden a mejorar el manejo agronómico del cultivo.

Dar a conocer al Agricultor y al Ingeniero Agrónomo los beneficios y la aplicabilidad de la Agricultura de Precisión en el cultivo del arroz en Colombia.

# 1. FEDEARROZ A LA VANGUARDIA MUNDIAL DE LA AGRICULTURA DE PRECISION

## La Agricultura de Precisión en el Mundo

Nace en Estados Unidos a principios de la década del 80. En 1985 en la universidad de Minnesota, investigadores hicieron pruebas y experimentos diversos sobre parcelas agrícolas. La constante evolución tecnológica, permitió el desarrollo de monitores y sensores de rendimiento, y su utilización, unido a la aparición de sistemas de GPS alcanzando en la actualidad varios millones de hectáreas cubiertas por la utilización de estos sistemas.

En el mundo, el desarrollo de la agricultura de precisión se realiza a diferentes ritmos. Dentro de los países pioneros en su aplicación, se encuentra Estados Unidos, seguido de Canadá y Australia. En América Latina, países como Argentina y Brasil han abierto paso al uso y desarrollo de importantes herramientas que ayudan a cuantificar y caracterizar la variabilidad espacial de los campos.

En el año 2012 cuando inicio la ejecución del Programa AMTEC como un modelo de transferencia de tecnología basado en la sostenibilidad y la responsabilidad social que propende por la organización, la competitividad y la rentabilidad del productor, implementando tecnologías en forma integral para aumentar los rendimientos, reducir los costos de producción en el cultivo del arroz y disminuir el impacto ambiental, la investigación se enfocó en buscar herramientas que ayudaran a cumplir con los objetivos del programa y es así como a partir de ese año se dio inicio al trabajo de Agricultura de Precisión, buscando en la experiencia de países como Estados Unidos, Argentina y Brasil cuales serían las herramientas idóneas que se ajustaran a las necesidades del productor colombiano.

Han sido 5 años de investigación en donde se han evaluado diferentes herramientas, tales como:

- Imágenes satelitales por NDVI (Índice de vegetación Normalizado)
- Sensores de rendimiento
- Drones
- Monitores de siembra
- Riego de precisión MIRI

Se viene hablando de agricultura de precisión hace más de 20 años y el trabajo que está desarrollando Fedearroz FNA va al ritmo de la evolución de la Agricultura de Precisión, sin embargo es necesario evolucionar y generar cambios positivos en nuestra agricultura, dando un enfoque basado en resultados científicos y seleccionando las mejores herramientas que vayan en pro del beneficio del sector.

## 2. VENTAJAS

Los resultados de investigación demuestran que la eficiencia agronómica mejora cuando se agregan sistemas de Agricultura de Precisión (AP) a una actividad agrícola. Aun así, se pregunta si el costo de la inversión en sistemas de Agricultura de Precisión es rentable, al compararse con los beneficios obtenidos una vez que los sistemas se integran en el establecimiento dentro del cultivo; la medida de la efectividad varía entre lugares, los sistemas de AP son herramientas potentes que multiplican las ventajas de las prácticas agrícolas modernas. Dentro de las ventajas de utilizar herramientas de Agricultura de Precisión se encuentran:

- Trabajar con datos de área real
- Conocer la heterogeneidad del lote
- Hacer mapas de diferentes variables del lote (suelos, malezas, rendimiento etc.)
- Uso eficiente de los insumos (fertilizante, plaguicidas, agua)
- Permite la caracterización por ambientes de los lotes (Bueno, regular, malo)
- Tomar decisiones que ayuden a mejorar la productividad de cada lote

• Una mayor relación costo - beneficio de la tecnología utilizada con la productividad alcanzada
• Manejo por sitio especifico

## 3. IMÁGENES SATELITALES

Para definir un manejo especializado el primer paso es captar información del área en estudio, entre las técnicas empleadas están las imágenes tomadas por sensores especializados de satélites, Estos sensores son capaces de determinar la radiación reflejada (reflectancia), absorbida o trasmitida por una superficie u objeto de estudio (Roa, 2016); Estos sensores se conocen como pasivos, su funcionamiento se basa en la interacción con la radiación incidente en la tierra y la reflectancia emitida por esta (figura 1).

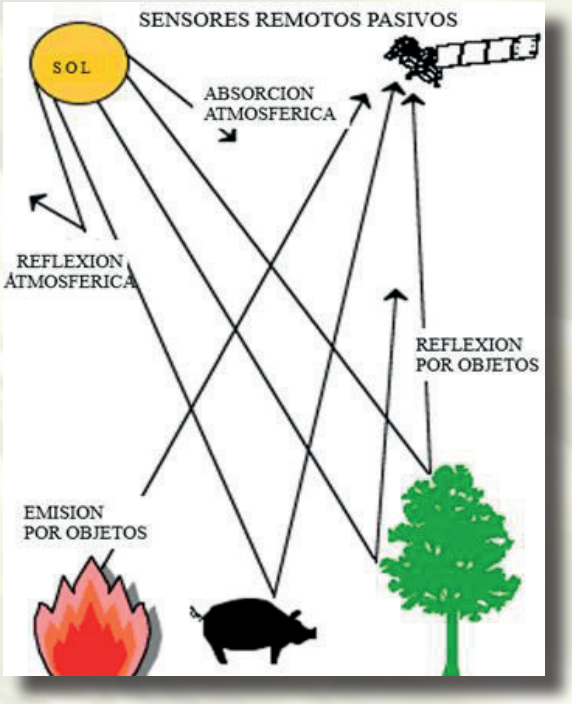



*Figura 1. Dinámica de un sensor de imágenes multiespectrales.*

Fuente: IGAC, (2016).

Teniendo en cuenta que el comportamiento de esta interacción está determinado por las características de la superficie con la que la energía impacta es importante conocer que para el caso de estudio de la vegetación esta responde a diferencias en el contenido de humedad de las plantas, estado fitosanitario, densidad de la población, tipo de plantas que se encuentren en una área específica, composición de la clorofila y componentes de los tejidos.

• *Características y tipos de imágenes Satelitales*

Las imágenes obtenidas por sensores satelitales presentan características que deben ser analizadas para su uso en la agricultura de precisión y específicamente para la definición de áreas de manejo por sitio especifico.

*Resolución espacial:* La resolución espacial o tamaño de pixel, en términos prácticos dice cada cuanto en distancia tenemos un dato, esto determina el nivel de detalle con que se quiera trabajar una zona de estudio. La resolución espacial es muy importante ya que entre menor sea el tamaño del pixel permite un análisis más preciso de la información contenida en la imagen, en los trabajos realizados por las diferentes instituciones en Colombia, uno de los tipos de imagen más empleado en el campo de agricultura es Landsat la cual tiene un tamaño de pixel de 30 x 30 m y se encuentra disponible de manera gratuita para su uso en diferentes plataformas en internet con un amplio historial desde 1970.

Este historial permite realizar un análisis completo de las zonas descartando fenómenos eventuales como épocas de sequía, zonas inundadas, volcamiento del cultivo, alta población de malezas, presencia de zonas desnudas, épocas de rotación de cultivos y las diferentes etapas fenológicas en las que se encuentre el cultivo. Vale la pena mencionar que actualmente se incorporan trabajos con imágenes tipo Ikonos pixel de 1 y 4 m, Sentinel con pixel de 10 x10 m y Rapideye de 5 x 5 m.

*Resolución temporal:* La resolución temporal hace referencia a la frecuencia en días con la que un satélite puede obtener una imagen de un área, esta resolución permite realizar estudios más detallados a medida que este

periodo en días se reduce, para aplicaciones en agricultura comúnmente se emplea resolución temporal que se encuentra según el tipo se sensor o satélite en 3 días para Spot 5, 16 días Landsat 7, 1 día para Rapideye, 15 días para Landsat 8 y para imágenes Ikonos a petición del usuario.

Resolución espectral: Una imagen satelital se compone de distintos colores o bandas, del número de bandas y la longitud de estas depende que se puedan caracterizar las variables deseadas. Entre mayor número de bandas incluya una imagen más características se pueden detectar, algunas imágenes y su resolución espectral que se deben tener en cuenta se mencionan a continuación: Spot 5 incluye 1 banda Pancromática y 4 multiespectrales, Ikonos incluye 5 bandas y Landsat 7 y 8 incluye 7 bandas (4 bandas Multiespectrales).

• Índices Espectrales

Es necesario antes de realizar un análisis contar con información como: fechas históricas de siembra, localización de la zona de trabajo (posición mediante polígonos con navegador GPS), comportamiento de los rendimientos, clima presente en la zona y conocimiento de eventos extraordinarios que pudieran ocurrir en estas áreas.

La metodología para la incorporación de imágenes satelitales (Landsat, Rapideye, Ikonos etc.) en la agricultura se requiere de un procesamiento mediante programas de computación especializados. Este tratamiento consiste en determinar los niveles de respuesta de la vegetación en unidades numéricas y proceder a realizar cálculos de Índices espectrales los cuales se pueden relacionar directamente con el desarrollo de la vegetación, esto permite diferenciar áreas con similar o diferentes comportamientos en su desarrollo durante los periodos de cultivo deseados.

El análisis de un objeto o un cultivo capturando la radiación reflejada en diferentes niveles de onda caracterizados permite realizar operaciones entre estas y hallar el índice que tenga mayor relación con el comportamiento del cultivo. Estos índices pueden ser según Sutter (2010): NDVI, MNDWI, NDWI, GNDVI, entre otros.

El Índice NDVI por siglas en inglés de Normalized Difference Vegetation Index (Índice diferenciado de vegetación Normalizado), utiliza bandas relacionadas con la estructura externa de la planta.

Según Chávez y Kwarteng, 1989 en Cartaya et al., (2015) el NDVI varía entre -1,0 y +1,0. De ellos, sólo los valores positivos corresponden a zonas de vegetación. Los valores negativos, pertenecen a nubes, agua, zonas de suelo desnudo y rocas; ya que sus patrones espectrales son generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo. El NDVI está directamente relacionado con la capacidad fotosintética y por tanto, con la absorción de energía por la cobertura vegetal. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona.

Se debe tener en cuenta que el desarrollo del cultivo es variable dependiendo de la zona geográfica donde se encuentre ubicado, este aspecto se caracteriza para desarrollar técnicas de análisis mediante imágenes satelitales buscando la diferencia de los comportamientos espectrales que presenta cada variedad de arroz en cada una de las zonas arroceras en Colombia. Este estudio se desarrolla actualmente por FEDEARROZ- FNA, con el ánimo de desarrollar metodologías que permitan determinar áreas de manejo, detectar comportamientos anómalos dentro de un lote para su corrección oportuna y además se busca calcular el potencial productivo de los lotes.

Actualmente en el mercado se encuentran empresas que prestan el servicio de análisis de estas imágenes y realizan procesos para convertirlas en una herramienta útil como se ve en la figura 2. Fedearroz - Fondo Nacional del Arroz mediante el programa adopción masiva de tecnología AMTEC, brinda la asesoría necesaria para adquirir estos productos y además investiga en estos procesos con el fin de apoyar el desarrollo de metodologías de análisis y producción de técnicas de teledetección que contribuyan al mejoramiento de la productividad del cultivo del arroz en Colombia.

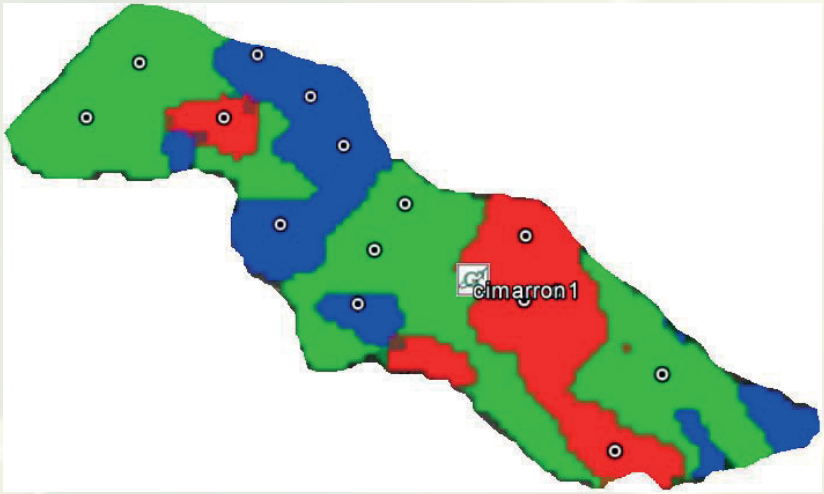



*Figura 2. Mapa de ambientes según índice NDVI elaborado con historial de imágenes tipo Landsat, finca Tamarindo, Aguazul Casanare 2016.*

## · Ventajas del uso de imágenes satelitales

· Amplia disponibilidad de Imágenes (Landsat, Ikonos, Sentinel, Rapideye etc.) con características adecuadas para la aplicación en agricultura y algunas con disponibilidad gratuita.

· La disponibilidad de imágenes históricas permite realizar análisis de diferentes épocas y detectar eventos cíclicos entre dos o más fechas.

· Se reduce el costo por ha al permitir procesar información que incluye varias fincas o incluso municipios completos en una sola imagen.

· Posibilita detectar diferentes tipos de eventos según se requiera (inundaciones, sequias, uso del suelo etc.), debido a que manejan diferentes combinaciones del espectro visible para resaltar una característica deseada.

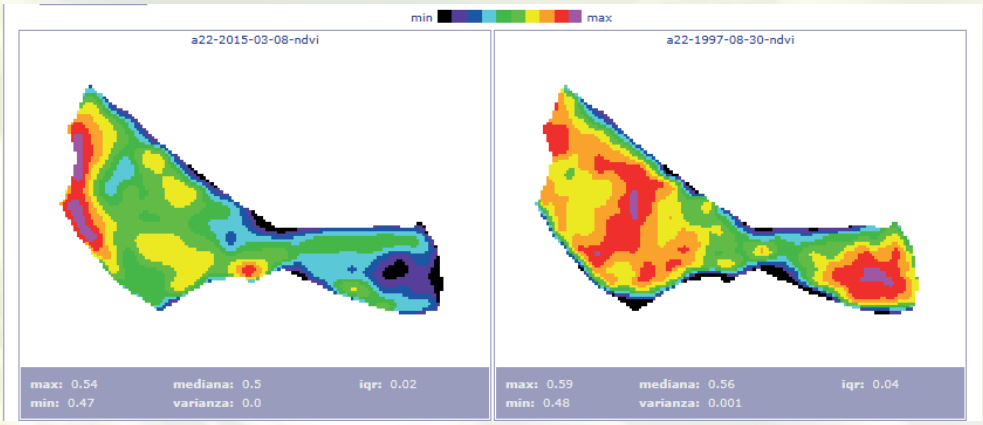
· La información generada se puede procesar en programas de información geográfica lo cual permite desarrollar mapas y posteriormente geo posicionarlos en cualquier zona con la ayuda de un simple navegados GPS o Smartphone.

Con los mapas generados se procede a realizar los análisis de la zona identificada incluyendo un diagnóstico por zonas del lote, donde se evalúen características tales como: Compactación, resistencia a la penetración, pruebas de infiltración, análisis microbiológico y químico del suelo, descripción topográfica, comentarios del administrador, el asistente técnico y el regador de campo, esto con el fin de hacer correcciones pertinentes para mejorar el rendimiento en la campaña siguiente.

Con el objetivo de aumentar los rendimientos y disminuir los costos de producción en el cultivo del arroz basados en la sostenibilidad y responsabilidad social, Fedearroz – FNA, ha liderado el proyecto Manejo agronómico por ambiente, el cual es una iniciativa para dar los primeros pasos en agricultura de precisión, logrando un cambio en el manejo tradicional de los lotes basado en promedios, a un manejo por ambientes que busca reconocer y analizar la heterogeneidad espacial y temporal que existe en un mismo lote, sin embargo no consiste sólo en identificar esta variabilidad sino también en la adopción de prácticas que se realicen en función de la misma (Castilla y Morales, 2015), para tal objetivo Fedearroz tiene a la disposición dos herramientas para obtener los mapas por ambientes, a través de mapas de rendimiento, los cuales se obtienen a partir de los datos recolectados por una cosechadora que incluye un sistema de posicionamiento global, junto con un sistema de sensores que permiten calcular la cantidad de grano cosechado por unidad de superficie.

La información obtenida por los sensores y el GPS, es centralizada y almacenada en una consola que sirve de interfaz con el usuario (Bragachini et al., 2006) o por medio de imágenes satelitales, las cuales a través del análisis del NDVI, se crean zonas de alto, medio y bajo índice de verdor dentro de un lote. En esta cartilla se describirá un caso exitoso en la meseta de Ibagué en el cual a través del manejo agronómico por ambiente, se logró aumentar los rendimientos de la zona mala en un 43% y de la zona con rendimientos medios en un 26%. A través de la identificación de factores limitantes, y su modificación a lo largo de dos ciclos del cultivo.

El manejo agronómico por ambiente se realizó en el lote 22A de la finca Piamonte, ubicada en la vereda Picaleña en la zona arrocera de la meseta de Ibagué, en el cual el primer paso que se llevó a cabo fue la obtención del mapa por ambientes del lote, que se hizo a través de imágenes satelitales, herramienta que por medio del análisis de información histórica de cada lote, identifica en un periodo de tiempo la variabilidad temporal utilizando el índice de verdor (NDVI), el cuál es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, con base en la medición por medio de sensores satelitales, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas espectrales, roja e infrarroja que la vegetación emite o refleja, y con base en esta información se hacen mapas de ambiente a una resolución de 30m x 30m cada pixel (figura 3).



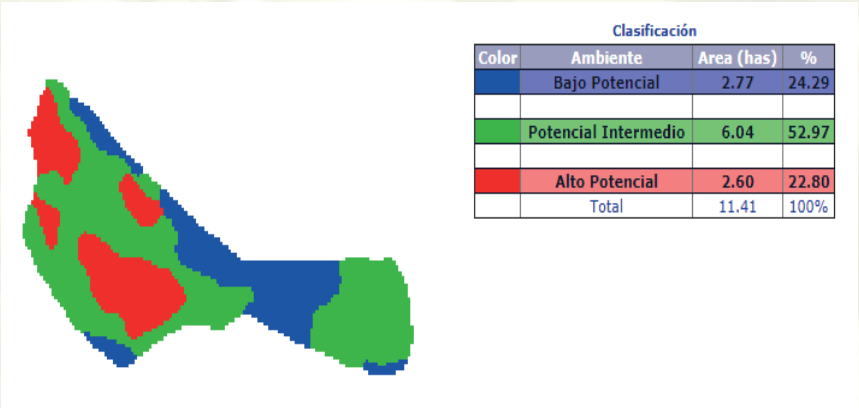




*Figura 3. Mapas de ambientes obtenidos a través del análisis de imágenes satelitales del índice de verdor normal diferenciado (NDVI) (Lote 22A), Ibague.*

Una vez obtenido el mapa por ambientes, se procedió a la identificación de puntos georreferenciados en cada uno de los ambientes con el fin de realizar la caracterización de los mismos e identificar así las variables que estaban limitando o potencializando la producción.

Existen un conjunto de variables que se pueden tener en cuenta para caracterizar los ambientes antes, durante y después del ciclo del cultivo. Dentro de las cuales se tomaron las siguientes: Variables previas a la siembra, que incluyó una caracterización física del suelo, en donde se evaluaron variables como:

Compactación del suelo, se tomaron puntos georreferenciados distribuidos al azar dentro de cada uno de los ambientes en los cuales se hizo una prueba de la resistencia a la penetración con el penetrómetro de cono. Tomando las muestras en las profundidades de la siguiente manera: 0-5, 6-10, 11-15 y 16-20 cm. Igualmente se realizó un cajuela de 40x40x40 $cm^3$ y con el penetrómetro de bolsillo se realizaron las evaluaciones en una de las caras, con dicha cajuela se aprovechó además para realizar una descripción general del perfil del suelo.

Se evaluó por ambiente la textura del suelo; tanto la que se toma en campo como la que se determina por medio del análisis químico, la porosidad, la densidad aparente, velocidad de infiltración, profundidad efectiva y topografía del terreno, esta última correspondió a una caracterización visual que se hizo con ayuda de una persona conocedora del lote, en la cual se identificaron zonas altas y bajas dentro del mismo, así como zonas buenas y malas.

Analizadas las variables físicas del suelo, se realizó una caracterización química y biológica del mismo, para lo cual se tomaron submuestras por ambiente para homogenizarlas y sacar una muestra representativa de cada uno. Después de la siembra se evaluaron los componentes de rendimiento por ambiente en los puntos establecidos con marcos de 50x50 $cm^2$, plantas, macollamiento y panículas efectivas por metro cuadro. Realizando además un monitoreo fitosanitario durante todo el ciclo, siguiendo la metodología descrita en los manuales hechos por Fedearroz, los cuales permiten identificar los umbrales de daño económico de los que se monitoree.

Finalizado el ciclo del cultivo, y previo a la cosecha se realizó la evaluación de porcentaje de vaneamiento, peso de 1000 granos y calidad molinera.

Una vez analizada la caracterización se determinaron las prácticas de manejo agronómico en cada uno de los ambientes, realizando una planificación de las correcciones pertinentes durante el ciclo del cultivo en adecuación de suelos, selección de la variedad, época y densidad de siembra, recomendaciones de las labores de manejo integrado del cultivo de acuerdo a la variedad, al ambiente y a la finca, manejo de la fertilización oportuna y adecuada con ayuda del sistema de fertilización arrocera "SIFA" para cada uno de los ambientes, riego por ambiente.




*Figura 4. Mapa de ambientes lote 22a finca Piamonte.*

En la figura 4 se puede observar la distribución de los tres ambientes dentro del lote, en los cuales se eligieron puntos georreferenciados sobre los cuales se tomaron todas las variables mencionadas anteriormente.

La primera caracterización correspondió a un análisis físico del suelo, en donde se pudo apreciar de inmediato que una de las principales diferencias correspondía a la compactación de los ambientes (figura 5A), encontrando que el ambiente rojo y azul presentaban desde los cero a 15 centímetros de profundidad compactación (datos mayores a 0,3 MPa), a diferencia del ambiente verde. Esta variable estuvo directamente relacionada tanto a la menor velocidad de infiltración como a la menor porosidad que presentaron los ambientes rojo y azul en las evaluaciones.

Dentro de la porosidad el porcentaje de poros que marcó la mayor diferencia correspondió a los mesoporos, los cuales están directamente relacionados con la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. Cabe resaltar que las características físicas ideales en el suelo determinan un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de las plantas (Taboada & Álvarez, 2008).

Se realizó también un análisis de las características químicas del suelo, en donde se encontró que las principales diferencias entre los ambientes correspondían al porcentaje de materia orgánica, contenido de fósforo y potasio (ver tabla 1). La interpretación de los análisis de suelo por ambientes, se hizo con ayuda del SIFA, guía para realizar la fertilización diferenciada entre los ambientes (tabla 2), dicha fertilización fue programada con ayuda del clorofilómetro, el cuál a través de las unidades SPAD, determina la cantidad de clorofila que tiene la hoja, siendo esto una mediada indirecta de la cantidad de nitrógeno presente en la misma (Garcés y Castilla, 2015), según investigaciones realizadas por Fedearroz, dichas unidades no deben ser menores a 35, ya que por debajo de este valor la planta va perdiendo su potencial de rendimiento.

| | | | |
|---|---|---|---|
| M.O % | 0,41 | 0,52 | 0,85 |
| P mg/kg | 11,7 | 19,7 | 24,7 |
| K cmol/kg. | 0,13 | 0,13 | 0,18 |

*Tabla 1. Diferencias análisis de suelo entre los ambientes.*

| Requerimientos nutricionales Kg/ha (SIFA) | | | |
|---|---|---|---|
| Ambiente | ROJO | AZUL | VERDE |
| Nitrógeno | -192 | -189 | -174 |
| $P_2O_5$ | -94 | -90 | -66 |
| $K_2O$ | -120 | -131 | -45 |

*Tabla 2. Recomendación fertilización por ambientes según SIFA.*

Los resultados del análisis microbiológico (figura 6) por su parte también mostraron diferencias entre los ambientes, con lo cual se identificó que el ambiente rojo era el que menor población presentaba de descomponedores de materia orgánica, fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo, comparado con el azul y el verde, este último presentó la mayor cantidad de estos microorganismos en el suelo. Es importante resaltar que es necesaria la presencia de estos microrganismos capaces de transformar las fuentes de fertilizantes que se aplican en nutrientes disponibles para las plantas, aumentando la eficiencia de la nutrición (Cuevas y Alfonso, 2011).

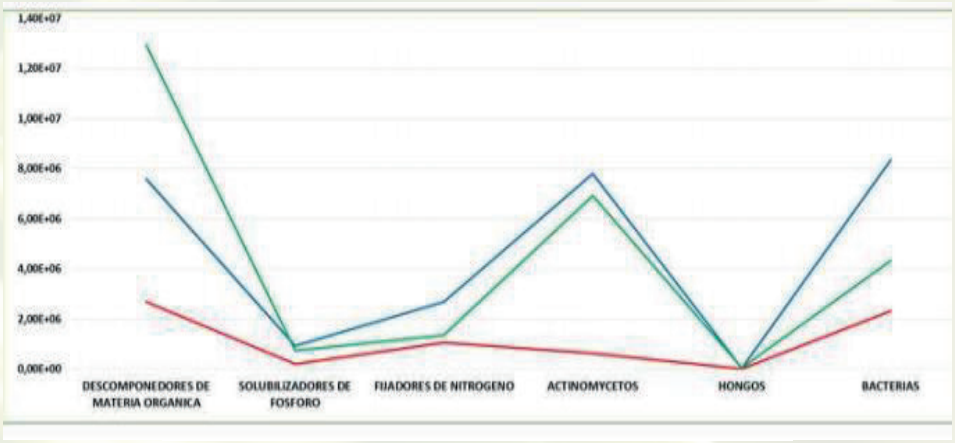



*Figura 6. Análisis microbiológico por ambientes*

En general dentro de las variables que se tomaron después de la germinación del lote, el ambiente rojo tuvo un comportamiento malo, menor plantas establecidas, menor macollamiento y por ende un menor número de panículas efectivas por metro cuadrado. El ambiente verde por su parte tuvo los valores más altos en la evaluación de los componentes de rendimiento. Lo cual finalmente se corroboró al realizar la cosecha dentro de cada uno de los ambientes, obteniendo un rendimiento de 11,8 t/ha para el ambiente verde, 8,12 t/ha para el azul y 5,56 t/ha para el rojo. Con este rendimiento y teniendo en cuenta los costos de producción para cada ambiente se realizó un análisis económico, estableciéndose que el agricultor tuvo una ganancia de 4,9% en el ambiente rojo, 55,91% en el azul y 131,73% en el verde.

Al analizar la caracterización por ambiente, y teniendo en cuenta que pese a que se realizó una modificación en la fertilización por cada uno de los ambientes, no se obtuvieron cambios significativos en los rendimientos; se procedió a la planificación con el equipo de trabajo de la finca, de las labores que se harían en el próximo ciclo con el objetivo de aumentar los rendimientos tanto en la zona roja como en la azul, y con esto aumentar el potencial de producción de este lote. Teniendo en cuenta que la principal conclusión fue que la zona roja se trataba de una zona que no tuvo una buena retención de humedad durante el desarrollo del primer ciclo, correlacionado directamente a los valores bajos de unidades SPAD que se obtuvieron pese al ajuste que se realizó en la fertilización, e igualmente a la presencia de focos de malezas, se determinó que una de las variables finalmente que más influencia tuvo sobre los rendimientos obtenidos fue la compactación que se presentó en la zona roja y azul, para lo cual se realizó en el segundo ciclo (fecha de siembra 4 de enero de 2017 – Fedearroz 67 – 120 kg/ha) una descompactación para estos ambientes con un arado de cincel, a una profundidad que no superó los 20 cm, buscando con esto mejorar las características físicas del suelo. Posteriormente se hizo un ajuste de la fertilización con los análisis de suelo ya obtenidos, con el fin de realizar una nutrición diferenciada para cada uno de los ambientes, garantizando con la descompactación del suelo, una disponibilidad de los elementos que se aplicarían. Igualmente para el segundo ciclo se tomaron todas las variables mencionadas anteriormente. Las cuales se muestran a continuación de manera comparativa (primer ciclo – segundo ciclo).

## Análisis de la compactación de los suelos




*Figura 5A. Análisis de la compactación primer ciclo (sin arado de cincel) ambiente rojo y azul compactado.*

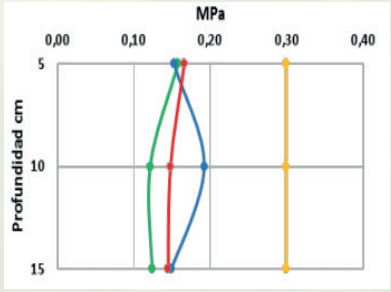



*Figura 5B. Análisis de la compactación segundo ciclo, luego de realizar un arado de cincel en los ambientes rojos y azul (niknguna zona se encontró compactada. Valor crítico >0.3 MPa línea amarilla.)*

## *Análisis componentes de rendimiento*

Se realizó la evaluación de los componentes de rendimiento en el cultivo (plantas/$m^2$ – macollas/$m^2$ – panículas/$m^2$) como se presenta en las gráficas 6a y 6b, dicho análisis permitió observar la influencia positiva que generó la descompactación del terreno, con lo cual se pudo lograr un establecimiento más homogéneo en los tres ambientes, comparado con el primer ciclo.

El ambiente azul logró por su parte ser similar al ambiente verde, sin embargo en el rojo aunque los componentes de rendimiento presentaron un mejor comportamiento, aún no se acercó tanto a los otros dos ambientes.

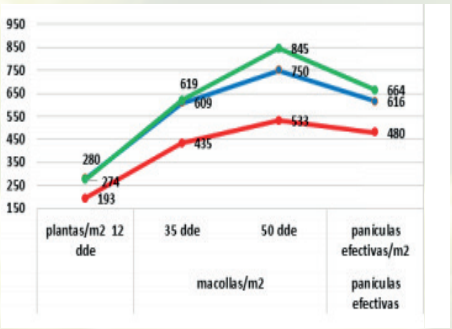



*Figura 6A. Componentes de rendimiento evaluados en el primer ciclo. Se observa la diferencia entre los ambientes.*

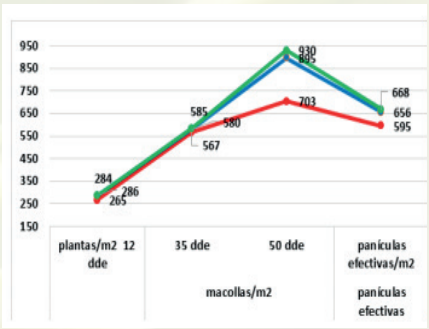



*Figura 6B. Componentes de rendimiento segundo ciclo, se puede observar que cada una de las variables estuvo más cerca entre los ambientes.*

Finalmente se realizó la cosecha del lote por ambientes tal y como se hizo en el primer ciclo, con el fin de poder medir la influencia del arado de cincel en los datos obtenidos por ambientes.

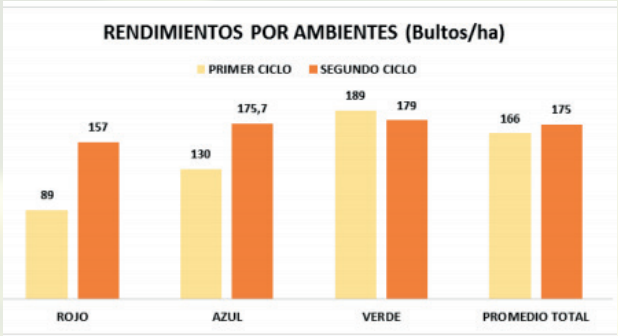



*Figura 7. Rendimientos por ambiente primer y segundo ciclo.*

En la figura 7 se puede observar los rendimientos obtenidos por ambientes de manera comparativa, resaltando la total influencia que tuvo realizar la descompactación del suelo, en donde gracias a esto y a la combinación de un excelente manejo agronómico del lote se pasó de 89 bultos (5,562 kg/ha) a 157 bultos por hectárea (9,812 kg/ha) en el ambiente rojo, de 130 bultos (8,125 kg/ha) a 176 bultos por hectárea (11,000 kg/ha) en el azul y el verde al cual no se le realizó ninguna modificación de 189 bultos por hectárea (11,812 kg/ha) pasó a 179 (11,187 kg/ha), dando como resultado el promedio total del lote 166 (10,375 kg/Ha) y 175 bultos/ha (10,937 kg/ha) primer y segundo ciclo respectivamente

## • Consideración del caso exitoso

La variabilidad del suelo desde el punto de vista físico, químico y biológico, tiene un efecto en la planta de arroz, que conlleva a tener que recurrir a un paso más moderno de la forma de hacer la agricultura, pasando de un sistema convencional y general baso en promedios a un manejo agronómico por ambiente, a una agricultura por sitio específico de precisión e inteligente donde es necesario tener en campo maquinaria moderna y más eficiente que origine una agricultura con un manejo en dosis variable dependiendo de las condiciones de las diferentes regiones y de la heterogeneidad del suelo para tener un cultivo de arroz más productivo, sostenible y competitivo (Castilla y Morales, 2015).

La disponibilidad de agua es fundamental para suministrar un adecuado balance nutricional a las plantas de arroz, la cual se encuentra directamente relacionada con las características físicas y biológicas del suelo. Razón por la cual, es de total importancia realizar una excelente preparación y adecuación del suelo, garantizando de esta forma el mejoramiento físico de los suelos así como la disponibilidad y eficiencia de la fertilización (Castilla, 2011), factor que fue clave en los resultados exitosos de este lote. Cabe resaltar además que es necesario modificar de manera integral todas las variables que se identifiquen como las causantes de los bajos rendimientos obtenidos, con el fin de poder alcanzar los objetivos ya señalados.

Es importante señalar además que los excelentes resultados obtenidos en el lote se debieron al compromiso de todo el equipo de trabajo de la finca, para realizar cada una de las labores que se determinaron, así como la disposición y análisis de la información que se pudo realizar en diferentes reuniones con el equipo técnico de la finca, el cual nos permitió tomar las decisiones de manera acertada y oportuna.

## 4. USO DE DRONES: EL FUTURO DE LA AGRICULTURA VISTO DESDE LAS ALTURAS

El mundo actual gira entorno de la tecnología, y la agricultura no ha sido ajena al impacto que ha generado, tanto en los nuevos modelos de producción, sino también en las técnicas con las cuales se llevan a cabo múltiples análisis en la planta (fisiológicas, morfológicas y nutricionales) suelo y ambiente. Igualmente, dentro del marco tecnológico existen unos elementos que pueden cambiar su concepción actual, con el fin de proporcionar una mejor percepción y una idea clara frente al desarrollo de la planta en condiciones específicas o que limiten su progreso.

A nivel mundial, las tecnologías aplicadas en agricultura son fuertemente marcadas en los países desarrollados, pues, parte del presupuesto estatal está enfocada a desarrollar nuevas alternativas para los agricultores ya sea en específico para un cultivo. Igualmente, la agricultura cuenta con reglamentaciones que protegen a los agricultores, incentivan la producción mediante ayudas gubernamentales y lo mejor, es que cuentan con centros de investigación que buscan que la agricultura sea más sostenible, eficiente y productiva.

En el caso de Colombia, no ha sido ajeno a la adopción de tecnologías en la agricultura en especial en el cultivo de arroz. Pues, como bien se sabe este cereal hace parte de la producción industrial nacional con un 2%.Ademas, es considerado uno de los cultivos de mayor impacto social en el país donde se cultiva en 215 municipios, 21.800 productores derivan su sustento del mismo y de ellos, 12.400 cultivan arroz mecanizado.

La adopción de tecnologías en el cultivo de arroz ha sido impulsada por parte de la Federación nacional de arroceros Fedearroz, con su programa (AMTEC) que nace como una estrategia de adopción de tecnología en el sector arrocero de Colombia, haciendo énfasis en la competitividad y sostenibilidad teniendo como objetivo incrementar la producción a un menor costo. Fedearroz, más específicamente el área de investigación, ha venido realizando un proyecto con dispositivos electrónicos, conocidos

como drones .El trabajo realizado hace parte de un trabajo en equipo con la universidad de Ibagué. Cabe señalar que los drones, son dispositivos aéreos no tripulados que se manejan con control remoto (tipo joystick) o a través de aplicaciones para Smartphone o Tablet. Los drones están equipados con GPS, sensores infrarrojos, cámaras de alta resolución y controles de radares. Dichos dispositivos electrónicos son capaces de enviar información detallada a satélites, que luego la dan a conocer al control de tierra, todo en cuestión de milésimas de segundos.

En el caso de la agricultura, los drones permiten a los agricultores tener una perspectiva más amplia de sus cultivos. Ya pueden sobrevolar grandes extensiones de una forma rápida, precisa y con capacidad de captar información diversa gracias a sus sensores, evaluando las condiciones del terreno, con el fin de recoger información sobre condiciones de humedad, temperatura o el comportamiento de la planta durante su ciclo de crecimiento. Esto permite que aquellos encargados de manejar los cultivos, en este caso los asistentes técnicos tengan a su disposición una herramienta para controlar e incrementar la productividad.

Siendo más específicos, los drones equipados con sensores especiales pueden determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) e imágenes infrarrojas multiespectrales, permitiendo ver cambios en sus cultivos que de otra manera son invisibles para el ojo humano. Lo mencionado anteriormente, es uno de los objetivos propuestos en el proyecto planteado por Fedearroz FNA y la universidad de Ibagué.

El proyecto que se realiza en la zona arrocera de la meseta de Ibagué lleva como nombre " Detección de estrés nutricional e hídrico en cultivos de arroz con base en imágenes aéreas de cámaras digitales de alta resolución, multiespectrales y termográficas" y busca determinar qué tan eficiente y real son los datos aportados por cámaras digitales (multiespectrales y termográficas) en el monitoreo de cambios en la radiación que las plantas de arroz reflejan pues, como es bien sabido, el cultivo de arroz necesita una cantidad de radiación y un cambio en esta, afecta los proceso fotosintéticos que son la base para el llenado y producción del grano. Las imágenes captadas

pueden ayudar a la detección de plantas con problemas de nutrición o déficit hídrico, mediante la reproducción de índices en un software que marcan las fluctuaciones en los cambios de temperatura creando un mapa del cultivo. Igualmente, se pretende diseñar un sistema donde se correlacione el índice vegetativo de reflectancia NDVI (Normalized Difference Vegetative Index) y variables relacionadas con el estrés hídrico y nutricional en las plantas de arroz, como son diferentes indicadores de la planta y el suelo como número de macollas, tamaño de la planta, humedad del suelo, contenido de nutrientes, niveles de SPAD, numero de panículas, entre otros.

El proyecto cuenta con varias fases donde se busca ir ajustando y relacionado los datos obtenidos para diseñar de manera concreta y estructurada un sistema que permita identificar y determinar con claridad por medio de imágenes el comportamiento de la planta ya sea en condiciones de estrés hídrico o nutricional.

En la fase inicial se realizó un diseño, en donde se pudieron evaluar las variables de estrés hídrico y nutricional. Para esto, se sometieron las plantas de arroz a diferentes condiciones de estrés hídrico como nutricional, para lo cual se dividió en dos franjas verticales, dejando una franja para las condiciones de humedad y la otra para diferentes dosis de nitrógeno en condiciones normales de humedad. Para las evaluaciones se utilizó un Dron de ala fija con una autonomía de vuelo de 12 minutos y una altitud de vuelo de 70 metros con capacidad de monitorear 200.000 $m^2$ (Figura 8). Además, de tener incorporada una cáSmara Multiespectral Rededge de cinco canales capaz de detectar los cambios que tengan las plantas en cuanto a la reflectancia de la radiación (Figura 9).



*Figura 8. Dron de ala fija, Fuente Oscar Barrero, Universidad de Ibague, 2016*



*Figura 9. Camara Multiespectral Fuente Oscar Barrero, Universidad de Ibague, 2016*

La utilización del Dron se hizo semanalmente empezando desde barbecho y durante todo el ciclo vegetativo hasta cosecha.Al mismo tiempo se realizaban evaluaciones en campo de variables de crecimiento como número de macollas a los 15, 30, 45 y 60 dde en promedio y Panículas a cosecha, y altura de la planta.Adicionalmente se tomaron datos con el clorofilometro durante la fase vegetativa y reproductiva y en laboratorio se hicieron evaluaciones de componentes de rendimiento.

Con base en mosaicos de imágenes arrojados en los vuelos realizados se construyeron los mapas del cultivo, posteriormente con ayuda del software ARCGIS se georreferenciaron los mapas, para finalmente obtener un mapa donde se pudieron evidenciar gráficamente las zonas del cultivo, diferenciadas por color, donde se encuentran las plantas con problemas de estrés hídrico y nutricional. (Figura 10).

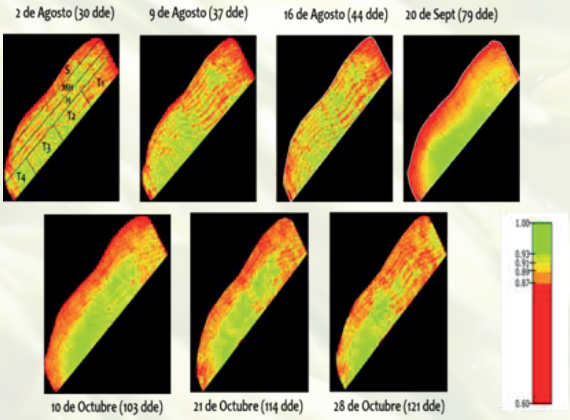



*Figura 10. Mapas arrojados por las cámaras multiespectrales en diferentes etapas del cultivo de arroz, Ibague (Castilla y Barrero, 2017).*

Para poder analizar las imágenes y encontrar los patrones que determinan las zonas y causas del estrés en las plantas de arroz, se utilizaron métodos de clasificación y agrupación en imágenes digitales. Uno de los resultados más relevantes de la primera fase del proyecto fue encontrar que a los 80 días después de emergencia se presenta el pico más alto de NVDI durante el ciclo del cultivo. Además, de encontrar una medida en promedio de valores de NVDI según el contenido de nitrógeno en la planta. (Figura 11).

En el caso de las cámaras incorporadas en los drones, se obtuvieron imágenes a través del ciclo de cultivo, en las cuales se pudo observar la evolución del índice NDVI en el cultivo y en cada uno de los tratamientos .Por medio de las imágenes obtenidas se pueden llegar a determinar posibles problemas de estrés ya sean de carácter hídrico o nutricional, utilizando los índices de NDVI, los cuales mostraron correlación con los datos tomados en campo.

Se puede inferir que los resultados obtenidos en esta primera fase sirven como base para seguir avanzando hasta obtener un sistema confiable, que se pueda utilizar para determinar problemas de orden nutricional o hídrico en un cultivo de arroz, dependiendo del ciclo fenológico de la planta y así poder tener un sistema confiable para la toma de decisiones frente alguna circunstancia que se presente en el cultivo.

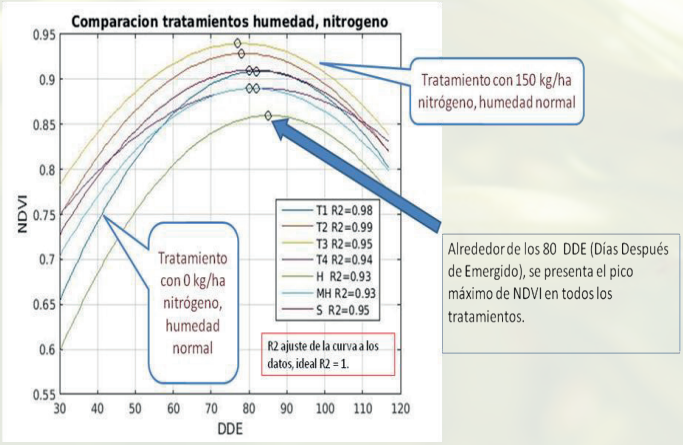



*Figura 11. Evolución de los valores de NDVI en diferentes etapas del crecimiento del arroz (Castilla y Barrero, 2017)*

## 5. RIEGO DE PRECISION

La eficiencia en el uso del agua en la agricultura día tras día toma mayor importancia teniendo en cuenta la menor disponibilidad del recurso, es por eso que la tecnología apunta a cuantificar y administrar el agua de una forma racional, en busca de mejorar la productividad del cultivo siendo sostenibles con el medio ambiente.

La medición del recurso hídrico y cuantificar el gasto del agua, permite que el productor pueda hacer una planeación de las actividades dependiendo de la disponibilidad que tenga de esta y así brindarle al cultivo los requerimientos hídricos óptimos.
Por lo que se hace necesario implementar nuevas tecnologías en el uso eficiente del agua y entre ellas está el MIRI (sigla en inglés) Riego por múltiples entradas.

## 6. MIRI – RIEGO EN ARROZ POR MÚLTIPLES ENTRADAS

En varios países como Estados Unidos, Argentina, Paraguay y Brasil, se viene desarrollando tecnologías con miras a reducir pérdidas de agua por conducción y distribución. Una de ellas es la tecnología basada en el riego por múltiple entrada conocido en Estados Unidos como MIRI (Multiple Inlet Rice Irrigation) y en el cono sur como Riego por Mangas (Figura 12).



*Figura 12. Riego por mangas o por Múltiples entradas (MIRI)*
*Fuente Dario Pineda Suarez, 2017*

Esta tecnología consiste en la implementación de un tubo de polietileno de baja densidad (grosor de su pared cercano a 400µm), permitiendo mayor flexibilidad en el terreno, en el cual son insertadas a lo largo de este compuertas (ventanas) ajustables, las cuales permiten de manera ajustable la salida del agua de forma independiente, regulando por consiguiente su caudal en cada una de las melgas (Figura 13).



*Figura 13. Compuerta ajustable de salida de agua*
*Fuente Jhon Alexis Sáenz 2017*

Su uso en el cultivo del arroz han arrojado resultados muy satisfactorios en el ahorro de agua cercano al 24% y un aumento en la eficiencia del riego hasta en un 36% comparado con el sistema convencional de inundación (Vories & Tacker et al, 2006).

De acuerdo con Thomas et al (2004), el sistema de inundación en arroz por múltiple entrada (MIRI) tiene algunas ventajas sobre el sistema de inundación convencional:

• El tiempo de inundación es más corto que el sistema convencional, debido a que el agua sale por múltiples compuestas ajustables.

• En el sistema convencional es necesario inundar hasta una mayor altura en las partes más bajas de los lotes para lograr irrigar las partes más altas del lote incrementando el consumo de agua.

• A medida que el agua se conduce por los tubos, el tiempo que se necesita para alcanzar las zonas más remotas de la entrada principal del agua es menor, lo que permite una mayor eficiencia operacional del riego.

• Después de realizar una fertilización, el agua podría llegar en menos tiempo a las zonas más aisladas de la entrada del agua, irrigando el lote en menos tiempo, de esta forma, logrando reducir las pérdidas de Nitrógeno por volatilización y desnitrificación.

• El sistema de compuertas ajustables puede regular el flujo en cada melga, de esta forma, reduciendo los excesos de agua en cada una de ellas. Consideración El reto quizás más grande que tiene el cultivo del arroz es producir más arroz con menos agua. Fedearroz Fondo Nacional del Arroz viene trabajando en generar y desarrollar nuevas tecnologías que permitan lograr estas metas.

## 7. MONITORES DE SIEMBRA

El monitor de siembra es una herramienta de agricultura de precisión que permite como primera función, censar la caída de semilla y fertilizante, en cada línea, para garantizar la correcta siembra. En una segunda función, la sembradora se puede acondicionar para controlar mediante un motor hidráulico, la tasa de aplicación de semilla y fertilizante, generando una dosis fija o variada, según se requiera.

La configuración del equipo se realiza mediante una pantalla donde se digita toda la información de siembra, datos generales del predio, variedad, cantidad de semilla y fertilizante. Previo a esto se debe realizar la calibración

de la sembradora para cada tipo de grano dependiendo de la variedad y tipo de fertilizante para estimar un factor GAC que se actualizara cada vez que se vaya a realizar una siembra teniendo en cuenta las dos variables antes mencionadas.

Con el monitor de siembra se puede definir la cantidad de semilla que se va a sembrar en una determinada zona, combinando la variedad, el flujo de salida de semilla y la velocidad de trabajo, arrojando un mapa de siembra con la cantidad entregada en cada punto de referencia.

Todo el engranaje del equipo es un sistema que va puesto en la sembradora; esta puede ser de cualquier referencia, lo importante es que se encuentre en buen estado y cumpla con las especificaciones del proveedor del monitor de siembra. (Figura 14).

El monitor de siembra está compuesto por los siguientes componentes

*Antena GPS*
*Pantalla Sbox o monitor de siembra*
*Sensor óptico*
*CANSIP Modulo actuador de sensores*
*Reducción Hidráulica*
*Módulo GAC, Control variable hidráulico*

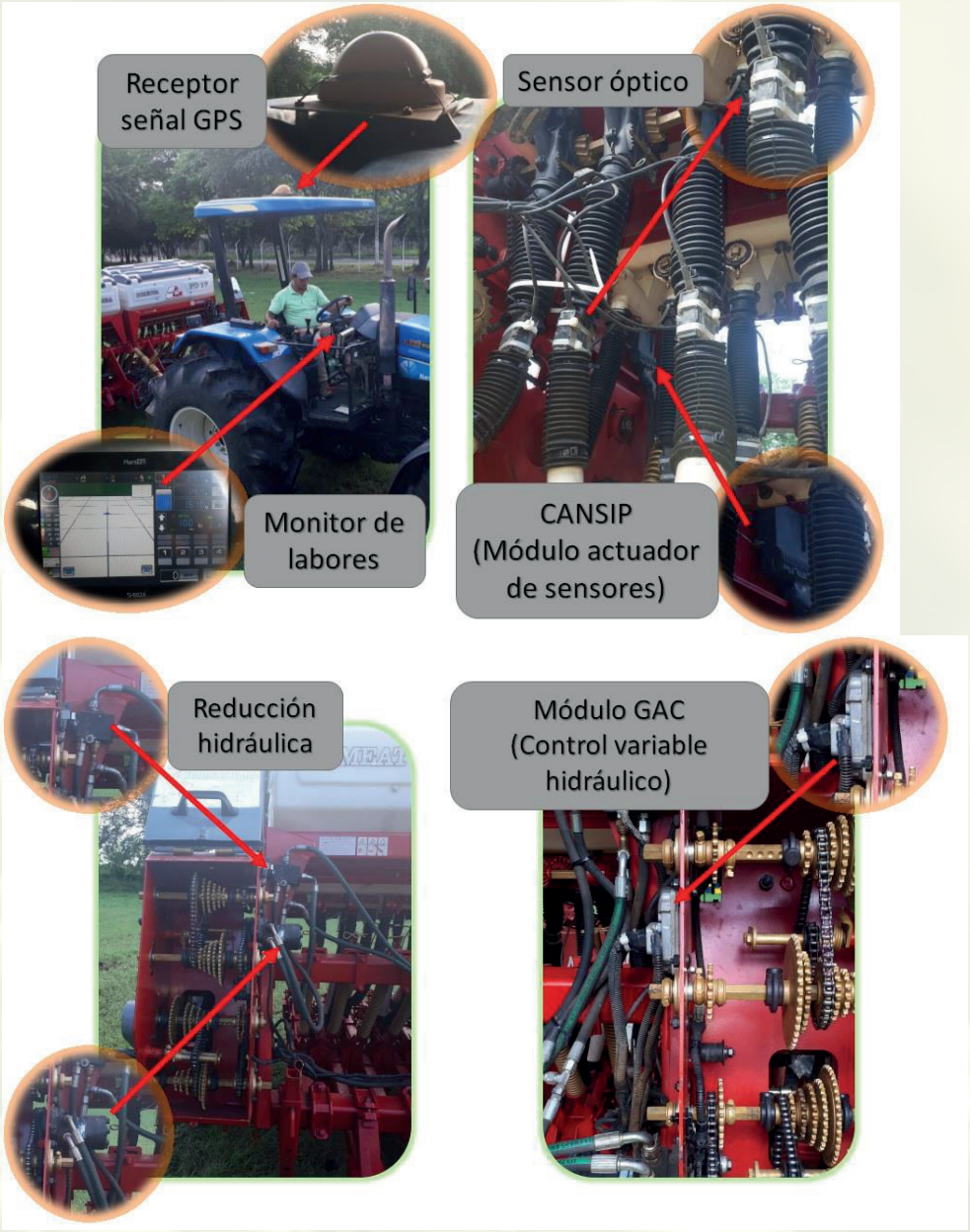



*Figura 14. Principales componentes del Monitor de Siembra*
*Fuente Ximena Blanco, Fedearroz 2017*

Estos equipos están diseñados para cumplir múltiples beneficios entre ellos:

• Supervisar la aplicación de semilla y fertilizante.
• Alertar inmediatamente al operador cuando se tapona alguna de las líneas:
• Evita volver a sembrar toda la hilera.
• Cuando se controla la dosis, es posible garantizar la densidad de siembra exacta en el lote
• Es posible generar mapas de aplicación variada, de acuerdo a la planeación del campo, con agricultura de precisión.
• Genera un registro georreferenciado de la aplicación realizada
• Controla la profundidad de siembra de manera neumática, garantizando siempre uniformidad.
• Es posible registrar diferentes variedades sembradas en un mismo lote.

La variabilidad que presentan los suelos permite con esta herramienta trabajar en dosis variada, haciendo siembra y preabonamiento de acuerdo a las características topográficas y agronómicas que se presenten, con esta tecnología el costo de los insumos disminuye, incrementando la eficiencia y la productividad en el cultivo.

Por medio de un mapa de siembra, se puede hacer una caracterización durante el seguimiento al cultivo verificando la población inicial, vigor, desarrollo, factores que ayudan para un próximo ciclo tomar decisiones de manejo y hacer aplicabilidad a dosis variable.

Para realizar dosis variable es importante tener un mapa base, bien sea de la siembra anterior o un mapa de cosecha o NDVI, con esto se hace una prescripción del mapa anterior y se hace un diseño de trabajo por zonas, con esto la maquina se programa para que vaya sembrando la cantidad de semilla y aplicando la cantidad de fertilizante que cada zona del lote requiera.

## 8. SENSORES Y MONITORES DE RENDIMIENTO

### *Sensores de rendimiento*

Es un dispositivo interno o externo capaz de recibir estímulos físicos y transformarla en información. Con esta herramienta se pueden hacer mediciones simples como las condiciones climáticas (presión, temperatura, precipitación, etc.), más complejas como rotación de poleas, ejes, alce y descargue o muy complejas como los sensores de flujo que pueden medir la cantidad de grano cosechado, semilla sembrada o producto aplicado en un tiempo y/o espacio determinado.

Los sensores se pueden utilizar para una amplia gama de labores que incluyen labores de preparación del terreno (nivelación y caballoneo), siembra, manejo del cultivo (aplicación de productos químicos y fertilizantes) y cosecha. Para esto lo importante es saber calibrar los sensores y saber manipular el software del monitor.

Para calibrar un sensor se deben conocer las características del estímulo que se quiere medir, esto permitirá alimentar la base de datos que posteriormente será utilizada. Es importante saber que es necesario hacer varias mediciones, a fin de reducir el margen de error en el sensor, el cual debe ser muy bajo y que siempre se deben calibrar los sensores antes de iniciar una nueva labor.

### *Monitores*

Los monitores son pantallas que contienen un software capaz de recibir, medir, procesar, almacenar, importar y exportar la información recogida en tiempo real por una serie de sensores. Trabajan con el sistema de posicionamiento global (GPS) lo que permite ubicar la información con buena precisión en el globo terráqueo.

El monitor de rendimiento depende de los sensores y a su vez es en este donde se programan. Estos elementos cuentan con una interfaz que permite definir la labor que se va a realizar y los factores de medición que se van a tener en cuenta para el procesamiento y presentación de la información, además permiten ver el comportamiento de la labor en tiempo real y crear un mapa georreferenciado que hace más fácil entender la información

*Componentes del monitor de rendimiento* (Figura 15).




*Figura 15. Principales componentes del Monitor de Rendimiento*
*Fuente Jorge Luque Fedearroz, 2017*

En el sector arrocero es más común el uso de esta tecnología para la siembra y la cosecha. En la cosecha combina la elevación y ancho de la mesa de corte,

la humedad del grano, velocidad de trabajo, vibración de la máquina y el flujo de entrada en la tolva, permitiendo generar un mapa de rendimiento grano seco y grano húmedo en que nos dice cuáles fueron las zonas de mayor y menor productivas.

Esta información se convierte en una herramienta muy versátil para que el agricultor identifique la variabilidad espacial a nivel de rendimientos que se encuentran en su lote y con esta información poder generar una estrategia de diagnóstico para identificar los principales factores limitantes en la producción.

El monitor de rendimiento genera información muy importante para el agricultor y el asistente técnico, como se puede apreciar en la Figura 16, se identifican las zonas que presentaron mayor y menor producción, las zonas altas y bajas del lote, la variabilidad de humedad de grano durante la cosecha y las zonas donde la maquina cosecho a mayor y menor velocidad.

Con estos mapas que se generaron se procede a realizar un diagnóstico por zonas del lote, donde se evalúen características tales como: Compactación, resistencia a la penetración, pruebas de infiltración, análisis microbiológico y químico del suelo, descripción topográfica, comentarios del administrador, el asistente técnico y el regador de campo, esto con el fin de hacer correcciones pertinentes para mejorar el rendimiento en la campaña siguiente.

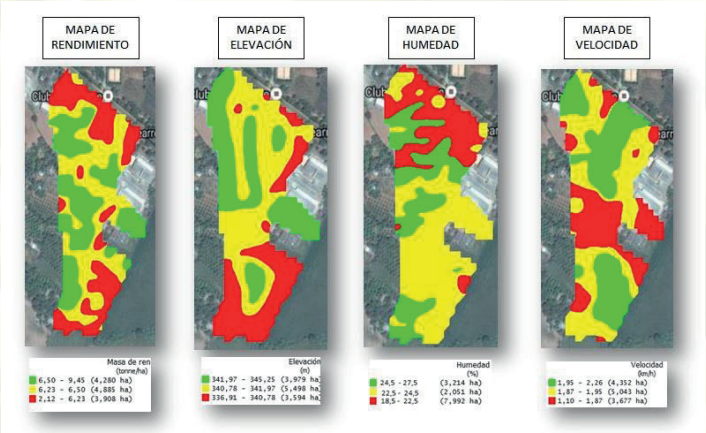



*Figura 16. Mapas generados por Monitor de Rendimiento Marca Ag Leader Lote Las Glorias, Municipio Espinal – Tolima, Elaborado por: Nilson Ibarra, 2016.*

## 9. OTRAS TECNOLOGÍAS PARA LA AGRICULTURA DE PRESICIÓN

Además de las tecnologías ya descritas, en el mercado encontramos una amplia gama de herramientas que permitirán hacer un uso más adecuado y consciente de los recursos en las prácticas agrícolas como los que se describen a continuación.

### *Banderillero Satelital*

Con este sistema, utilizando la tecnología de posicionamiento global (GPS), se puede trazar un recorrido sobre un sitio determinado y posteriormente alimentar el sistema en el tractor para que lo siga, reduciendo considerablemente el margen de error por traslape o espacios vacíos, conocidos popularmente como "conejos".

Esta tecnología es utilizada, especialmente en las labores de aplicación como pulverizaciones o fertilizaciones, además de la siembra de grano fino, donde se reducen las sobre aplicaciones y, por consiguiente, los costos y tiempos de aplicación.

### *Piloto automático*

Esta tecnología también depende en gran forma del sistema de posicionamiento y es la que permite programar el tractor en modo auto-guiado. Trabaja muy bien de la mano del banderilleo satelital y su principal ventaja es que da la oportunidad de trabajar haciendo apenas las paradas para equipar y hacer los mantenimientos en campo, sin importar la hora del día.

### *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Un SIG es una combinación de herramientas sistemáticas y físicas que le permiten profesional agrícola y al agricultor recopilar información de sus campañas, procesarla y a partir de esto, con la implementación de modelos e índices, ver el comportamiento de sus terrenos y estar preparado para los diferentes escenarios que se pueden presentar durante sus cultivos.

## Monitoreo en tiempo real

Se trata de instalar una serie de sensores en el cultivo que permitirán ver en tiempo real el comportamiento de las condiciones ambientales, de riego, edáficas, entre otros. Esto permite estar al tanto de posibles cambios que perjudiquen a la planta y/o favorezcan a la enfermedad o plaga, además de la creación de registros históricos que a largo plazo harán posible la construcción de modelos agroambientales que permiten definir las estrategias a implementar.

## Nivelación georreferenciada

La nivelación de suelos demanda cada día mayor precisión y eficiencia en la realización de la labor. En la actualidad se busca que está se pueda trabajar con la pendiente natural que tenga el terreno. En el mercado existe un sistema que incorpora la nueva técnica de nivelación por pendiente variable además de contar también con las técnicas ordinarias de pendiente de mejor ajuste, pendiente cero y pendiente controlada.

La nivelación por pendiente variable se ajusta a la topografía natural del terreno con lo cual garantiza un riego y drenaje perfectos con un mínimo de movimiento de material (de 300% a 500% menor que la nivelación por pendiente fija). Con este sistema es posible nivelar cualquier tipo de terreno aun cuando se presenten pendientes elevadas. Además, la nivelación por pendiente variable simplifica y hace más rápido y eficiente el marcado de la taipa porque: uniformiza las curvas de nivel al eliminar los picos y quiebres que complican el marcado; permite aumentar el distanciamiento entre taipa asegurándole al productor que entre taipa y taipa tendrá un nivel uniforme, sin lomas ni bajos; disminuye el número de taipa a marcar, y aumenta en un 400% la velocidad de avance del agua.

Este proceso inicia con la captura del levantamiento topográfico en dimensiones x, y, z con una precisión de 2,5 m.

Para capturar la altimetría se recorre el lote, siguiendo una grulla preestablecida. As coordenadas de cada punto se capturan de manera dinámica directamente en el programa AGForm-3D. Finalizando el recorrido se tiene de inmediato el perfil 3D del suelo y las curvas de nivel. El programa AGForm-3D permite modelar distintos escenarios de nivelación incluso a pendiente variada, generando por último el plano de cortes y rellenos que se requiere para ejecutar la alternativa de nivelación escogida. Este sistema trabaja con precisión RTK.

## Beneficios

- Topografía digital en tiempo real
- Múltiples opciones de diseño de nivelación
- Diseño de nivelación a pendiente variable
- Permite conocer la cantidad de m3 de suelo a mover y el costo antes de ejecutar la labor
- Menor movimiento de tierra por hectárea usando pendiente variable
- Control de calidad en la labor de nivelación

# CONCLUSIONES

El uso de imágenes satelitales en el cultivo del arroz, ha obtenido resultados satisfactorios logrando caracterizar los ambientes que pueda tener un lote por medio de diagnósticos físicos y químicos que ayuden a obtener información que luego será analizada para hacer recomendaciones para un manejo agronómico diferenciado que ayude a aumentar el potencial de producción. Utilizando esta herramienta se logró el aumento de los rendimientos hasta en una tonelada, como fue el caso de la finca Piamonte en la meseta de Ibagué y la disminución en los costos de hasta en un 20%, logrando así alcanzar los objetivos que busca e programa AMTEC con ayuda de estas nuevas tecnologías para el cultivo del arroz.

La Caracterización de la variabilidad espacial en los lotes de arroz se ha venido realizando mediante prácticas que ayuden a obtener información que luego será analizada para interpretar el porqué de dicha variabilidad, para ello el uso de imágenes satelitales NDVI, mapas de rendimiento obtenidos con sensores de cosecha, el uso de drones y demás prácticas de agricultura de precisión han ayudado a que el agricultor encuentre herramientas que le permitan hacer prácticas de manejo de acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización, hablar de agricultura por sitio especifico y dejar a un lado manejar todo un lote de la misma manera.

La agricultura moderna se enfoca a que el ingeniero agrónomo reinvente la forma de prestar el servicio de asistencia técnica, para ello debe ofrecer al agricultor estrategias de manejo que permitan que el cultivo del arroz sea sostenible, productivo y competitivo.

# RECOMENDACIONES

La agricultura de precisión es un tema que llego a Colombia hace más de 10 años, siendo el cultivo de la caña pionero en innovar con herramientas que permitían hacer los procesos del cultivo de una forma más amigable. Fedearroz hace 5 años viene trabajando con estas prácticas que han logrado excelentes resultados para los productores, es por eso que se recomienda que se involucren en esta cadena de la integración hacia adelante en busca de un cultivo arroz más productivo, competitivo y sostenible, hay que dejar atrás el miedo por el cambio, el gremio arrocero Fedearroz FNA apoya cada estrategia que sea en pro del beneficio de los agricultores.

Los productores y asistentes técnicos interesadas en conocer más en detalle sobre las herramientas de Agricultura de precisión en el cultivo del arroz tienen en Fedearroz FNA un apoyo incondicional con el objetivo de masificar esta tecnología en el cultivo de arroz en Colombia.

# BIBLIOGRAFIA

Castilla L. Luis A. Tirado. O. Yeimy C. Exitoso resultado del proyecto de manejo agronómico por ambiente, Revista Arroz Vol 65 N°528 Abr- May 2017

Captura de topografía y nivelación georreferenciada, Operadores del campo, 2015

Chuvieco, Emilio. Fundamentos de teledetección espacial Segunda edición Madrid, Ediciones Rialp, S.A. 2015.

Exis Colombia softwares y soluciones, Referencias de la agricultura de precisión, 2013, http://www.agriculturadeprecision.com

Manual del usuario Monitor de siembra S-Box Plantium Version1, 2013 http://www.plantium.com/wpcontent/uploads/2017/07/SBOX_SiembraManual_de_usuario_v1.21.pdf

Productos del monitor de cosecha Incommand, Ag Leader, 2015 http://www.agleader.com/products/yield-monitoring/

Pineda S. Dario F. Nuevas Metodologías Permitirán Cultivar Arroz Con Menos Agua, Revista Arroz Vol. 64 N° 521 Mar-Abr Pag. 22-24 2016

Roa Melgarejo, Osman Javier: Datos geoespaciales obtenidos a partir de espectroradiometria Bogotá, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF, 2016.

Rojas Sergio. Nieto Nelson. Índices espectrales, Bogotá, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF, 2016.

* IMAGEN PORTADA: https://agriculture.trimble.com/precision-ag/wp-content/uploads/sites/11/2017/01/Center-Pillar-Graphic-Final02_with_overlay.jpg



Terminó de imprimirse
en noviembre de 2018 en

Mónica Vera
Diseñadora Gráfica

Bogotá, DC, Colombia
editorialmvb@gmail.com



FEDEARROZ
FONDO NACIONAL DEL ARROZ

ISBN: 978-958-56286-7-0